DOI: 10.25728/mlsd.2022.1043

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА ДЛЯ СИСТЕМ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Жарко Е.Ф.
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва ул. Профсоюзная д.65
zharko@ipu.ru

Аннотация: в докладе приведены модели качества при использовании и модели качества программного обеспечения / цифровой системы, модель угроз качеству систем. Подробно рассмотрена модель качества программного продукта/цифровой системы, даны рекомендации по использованию оценочных характеристик для разных этапов жизненного цикла.

Ключевые слова: качество программного обеспечения, характеристики качества, модель качества, цифровые системы.

Введение

Системы критической информационной инфраструктуры (КИИ) все больше присутствуют в повседневной деятельности людей [1-2]. В транспортных средствах, в промышленных процессах, при управлении воздушным, наземным, морским транспортом и во многих других ситуациях мы используем такие системы и зависим от них. Разработка требований любой системы имеет решающее значение для ее правильной разработки, и она становится еще более актуальной для разработки систем КИИ.

С ростом использования программного обеспечения в критических с точки зрения безопасности компонентах сложных систем критической информационной инфраструктуры требуется анализу программных угроз и проверке качества системы (например, [3-5]). Оценка качества и его характеристик [6, 7] в отдельности важны для определения направления проектирования, разработки и анализа систем критической информационной инфраструктуры. Эти оценки можно использовать для прогнозирования, проверки и улучшения свойств системы, например, в части безопасности, безотказности, доступности и ремонтопригодности [8-10]. Они помогают ответить на наиболее актуальные вопросы, такие как: Способна ли система управления (транспортом, электроснабжением, оборудованием, технологическим процессом и т.д.) выдержать N одновременных отказов оборудования? Когда происходит программный сбой, сколько времени требуется для восстановления системы? и Способна ли система предоставить услугу пользователю в течение заданного периода времени?

Разработчики цифровых систем (ЦС) должны сконцентрировать усилия на совершенствовании подходов к разработке, реализации и поддержке систем КИИ, что обусловлено:

- повсеместностью применения программного обеспечения (ПО);
- критичностью ПО;
- участием людей;
- все возрастающей сложностью.

Развитие информационных технологий приводит к уточнению системных требований и характеристик качества систем относящимся к КИИ на всем жизненном цикле цифровой системы. Стоит отметить, что нормативные документы сдержат неоднозначные формулировки требований и характеристик, что приводит к затруднению их корректного понимания и соответствующего применения. С целью определения подходящих характеристик качества для систем относящимся к критической информационной инфраструктуре рассмотрим серию международных стандартов в области системной и программной инженерии [5], в которой представлены три модели качества: модель качества при использовании, модель качества программного обеспечения/системы и модель качества данных. Применение этих моделей качества одновременно обеспечивает учет всех характеристик качества систем относящимся к критической информационной инфраструктуре. Аспекты качества таких систем рассмотрены в [11, 12].

ISO/IEC 25010 [13] описывает 2 базовые модели качества информационных систем: модель качества при использовании и модель качества системы. Модель качества при использовании определяет 5 характеристик качества (эффективность; производительность; удовлетворенность; свобода от риска; покрытие контекста), которые отражают работу пользователя с системой (рис. 1). В модели качества ПО можно свойства цифровой системы декомпозировать по 8 характеристикам: функциональная

пригодность; надежность; удобство использования; уровень производительности; сопровождаемость; переносимость; совместимость; защищенность (рис. 2).

Рис. 1. Модель качества при использовании

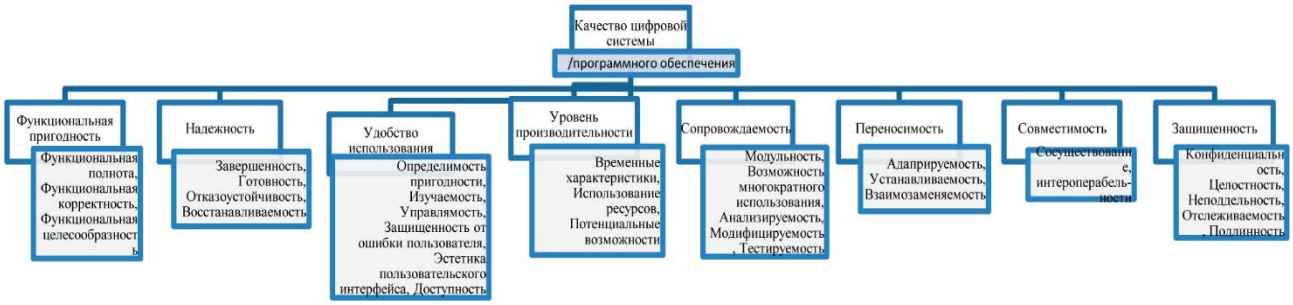

Рис. 2. Модель качества программного обеспечения/цифровой системы

1 Факторы качества программного обеспечения/цифровой системы

На качество программного обеспечения/цифровой системы влияют ошибки, выражающиеся в дефектах, неумышленных искажениях объекта или процесса. Определение ошибки основано на предположении, что известно правильное эталонное состояние объекта, по отношению к которому определяется наличие ошибки. Для организации борьбы с ошибками требуется исследование факторов, влияющих на качество программного обеспечения/цифровой системы со стороны различных ошибок ПО/ЦС. Это позволит разрабатывать методы и средства обеспечения качества цифровых систем различного назначения с учетом реально достижимого снижения уровня ошибок проектирования и разработки.

На рис. 3 представлена модель угроз качеству программного обеспечения/цифровой системы и методов их предотвращения [14]. Модель взаимосвязи базовых компонентов, приведенных на рис. 3, является основой для последующего анализа качества программного обеспечения / цифровой системы. Невозможно полностью исключить указанные на рис. 3 негативные воздействия на качество программного обеспечения/цифровой системы. В связи с этим необходимо разрабатывать методы и средства, снижающие их влияние на программное обеспечение/цифровую систему. Несомненно, что степень воздействия на качество программного обеспечения / цифровой системы всех внутренних и некоторых внешних дестабилизирующих факторов определяется качеством технологий проектирования, разработки, сопровождения и эксплуатации программного обеспечения / цифровой системы.

При ограниченных ресурсах на разработку программного обеспечения/цифровой системы для достижения заданных требований необходимо управление обеспечением качества в течение всего жизненного цикла программного обеспечения/цифровой системы и данных.

Рис. 3. Схема угроз качеству программного обеспечения / цифровой системы

2 Модель качества программного обеспечения/цифровой системы

Стандарты серии ISO/IEC 25000 [11, 13, 15, 16] определяют модель качества цифровой системы/ программного обеспечения как базовый набор характеристик и отношений между ними, которые создают основу для спецификации требований к качеству и последующей оценки качества (см. рис. 1). 3х уровневые структуры показателей качества (фактор, критерий, метрика) для модели (рис. 1) представлены на рисунках 4-11. На рисунках 4-11 используются обозначения: – наиболее рекомендуемая метрика, – рекомендуемая метрика, – метрика, используемая по усмотрению пользователя, внутренний и внешний показатель, - внешний показатель, – внутренний показатель. Стоит отметить, что данные структуры не являются закрытыми, а могут дополняться в зависимости от специфики программного обеспечения/цифровой системы. Свойства программного обеспечения/цифровой системы определяют качество в конкретных условиях использования (см. табл. 1).

Таблица 1. Влияние характеристик качества

Характеристики качества	**Качество продукта**		**Качество при использовании**		
	Свойства программного обеспечения	**Свойства цифровой системы**	**Для основных пользователей**	**Для обслуживания**	**Для других заинтересованных лиц**
Функциональная пригодность (рис. 4)	+	+	+		
Надежность (рис. 5)	+	+	+		+
Удобство использования (рис. 6)	+	+	+		
Уровень производительности (рис. 7)	+	+	+		+
Сопровождаемость (рис. 8)	+	+		+	
Переносимость (рис. 9)	+	+		+	
Совместимость (рис. 10)	+	+		+	
Защищенность (рис. 11)	+	+	+		+

Показатели категории «*Функциональная пригодность*» (рис. 4) применяют для оценки степени удовлетворения требованиям программного обеспечения/ цифровой системы при использовании в определенных условия. Показатели группы «*Функциональная полнота*» используются для оценки степени охвата программным обеспечением / цифровой системой требуемых функций и целей пользователя. Показатели группы «*Функциональная корректность*», используются для оценки степени обеспечения программным обеспечением / цифровой системой результатов с требуемой точностью.

Показатели группы «*Функциональная целесообразность*» используются для оценки функций ПО/ЦС с точки зрения выполнения поставленных целей и задач.

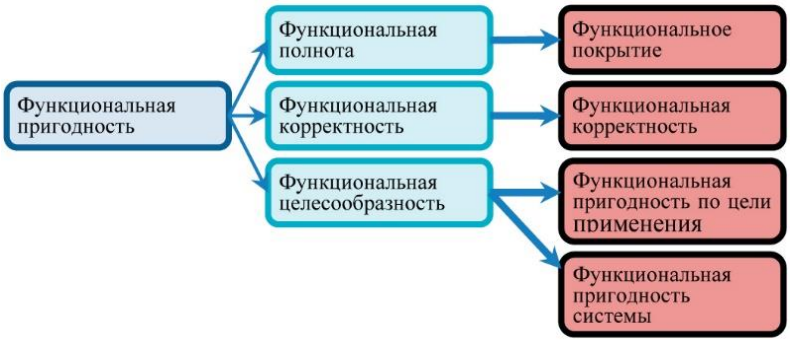

Рис. 4. Структура категории качества «Функциональная пригодность»

Показатели категории «*Надежность*» (рис. 5) используются для оценки выполнения ПО/ЦС или их компонентом заявленных функций при заданных условиях в течение заданного периода времени. Внутренние показатели категории «*Надежность*» используются для прогнозирования степени удовлетворения данным программным обеспечением / цифровой системой заданным требованиям в части надежности при разработке цифровой системы/ программного продукта. Внешние показатели категории «*Надежность*» используются для оценки атрибутов, связанных с поведением системы, частью которой является ПО во время тестирования, для указания степени надежности ПО в той системе во время функционирования. Программное обеспечение или цифровую систему не отличают друг от друга в большинстве случаев. Показатели группы «*Завершенность*» используют для оценки степени, в которой программное обеспечение / цифровая система или компонент удовлетворяют потребностям по надежности при нормальном функционировании. Понятие «*Завершенность*» может также быть применено к другим показателям качества для указания степени, в которой при нормальном функционировании они удовлетворяют необходимые потребности. Показатели группы «*Готовность*» используются для оценки степени готовности системы к эксплуатации. Показатели группы «*Отказоустойчивость*» используются для оценки того, в какой степени программное обеспечение / цифровая система или компонент работают по назначению, несмотря на наличие аппаратных или программных неисправностей. Показатели группы «*Восстанавливаемость*» используются для оценки восстановления ПО/ЦС в случае прерывания или сбоя непосредственно затронутых данных и достижения требуемого состояния системы.

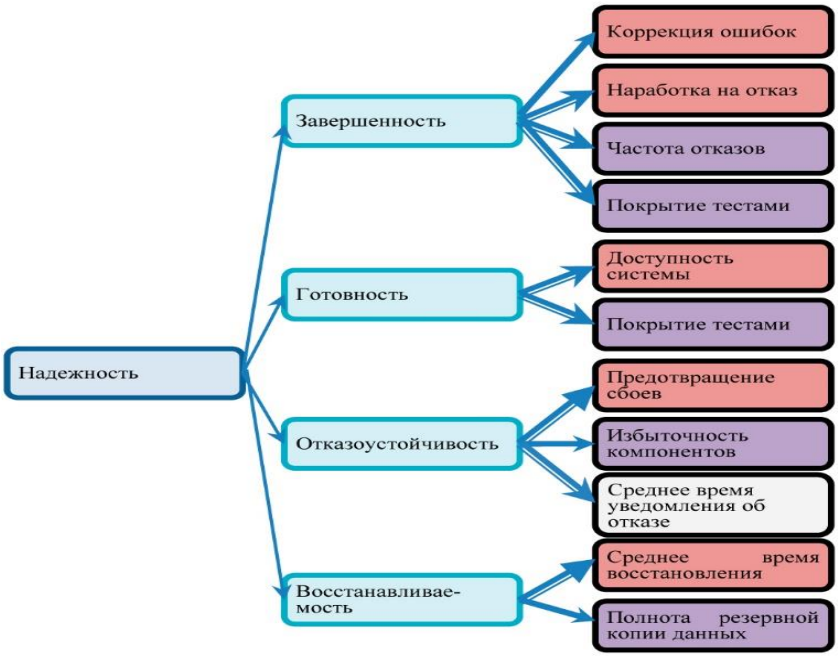

Рис. 5. Структура категории качества «Надежность»

Показатели категории «*Удобство использования*» (рис. 6) применяются для оценки использования пользователями ПО/ЦС для удовлетворения и достижения конкретных целей в определенном контексте. Пользователи группы показателей качества «*Определимость пригодности*» должны иметь возможность выбрать программное обеспечение / цифровую систему, подходящие для их целевого использования. Для оценки степени, в которой пользователи могут распознать, соответствует ли программное обеспечение / цифровая система их потребностям, используются показатели качества для определения приемлемости. Показатели группы «*Изучаемость*» используются для оценки степени, в которой конкретный круг пользователей может обучиться эффективному, результативному и безопасному использованию программного обеспечения / цифровой системы для удовлетворения собственных нужд и достижения целей в определенном контексте использования. Показатели группы «*Управляемость*» используют для оценки атрибутов качества ПО/ЦС в части эксплуатации и управления. Показатели группы «*Защищенность от ошибки пользователя*» используются для оценки степени защиты системы от ошибок. Показатели группы «*Эстетичность пользовательского интерфейса*» используются для оценки пользовательского интерфейса в части обеспечения удобного взаимодействия пользователя с программным обеспечением / цифровой системой. Показатели группы «*Доступность*» используются для оценки возможности использования ПО/ЦС людьми с самым широким диапазоном особенностей и возможностей достижения указанной цели в указанном контексте использования.

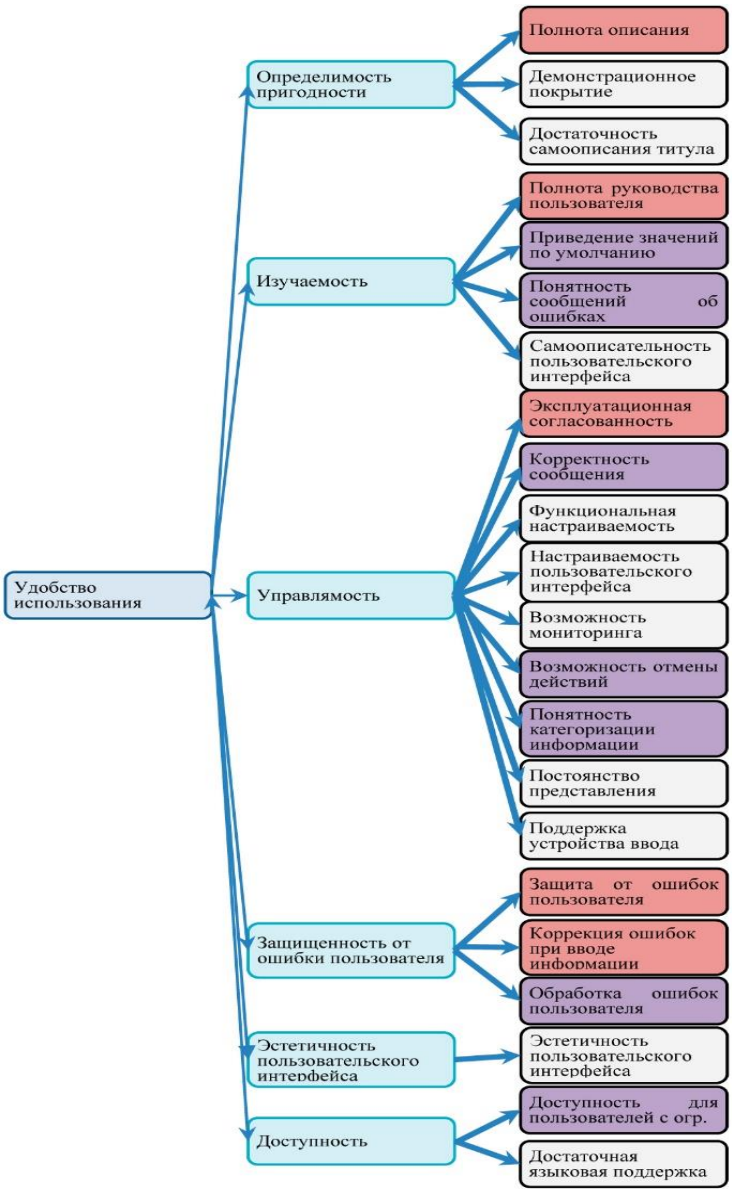

Рис. 6. Структура категории качества «Удобство использования»

Показатели категории «*Уровень производительности*» (рис. 7) используются для оценки эффективности работы относительно объема используемых ресурсов. Ресурсы могут включать программно-аппаратные средства. Показатели группы «*Временные характеристики*» используются для оценки того, в какой степени время реакции и время обработки, а также уровни пропускной способности программного обеспечения / цифровой системы при выполнении ее функций отвечают требованиям. Показатели группы «*Использование ресурсов*» используются для оценки объемов и типов ресурсов, используемых программным обеспечением / цифровой системой при выполнении своих функций, в соответствии со спецификацией требований. Показатели группы «*Потенциальные возможности*» используются для оценки степени соответствия максимальных значений характеристик программного обеспечения / цифровой системы выдвигаемым требованиям.

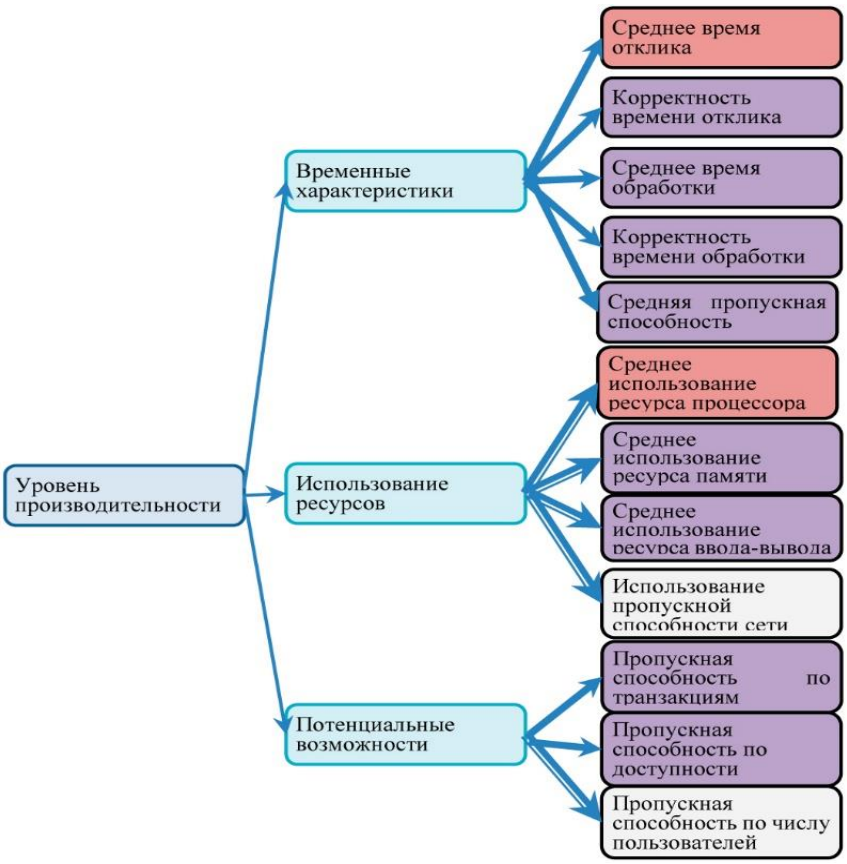

Рис. 7. Структура категории качества «Уровень производительности»

Показатели категории «*Сопровождаемость*» (рис. 8) используются для оценки степени результативности и эффективности изменения ПО/ЦС специалистами по обслуживанию. Показатели группы «*Модульность*» используются для оценки степени декомпозиции ПО/ЦС на компоненты с целью минимизации влияния между ними. Показатели группы «*Возможность многократного использования*» применяются для оценки возможности использования ПО/ЦС более чем в одной системе или при создании других систем. Показатели группы «*Анализируемость*» используются для оценки степени эффективности и точности оценки воздействия на программное обеспечение / цифровую систему предполагаемого изменения одной или нескольких его частей, или диагностирования программное обеспечение / цифровая система на наличие недостатков или причин отказа, или определения частей ПО/ЦС, подлежащих изменению. Показатели группы «*Модифицируемость*» используются для оценки степени, в которой программное обеспечение / цифровая система могут быть эффективно и действенно модифицированы без внесения дефектов или ухудшения существующего качества программного обеспечения / цифровой системы. Показатели группы «*Тестируемость*» используются для оценки степени результативности и эффективности установки тестовых критериев для ПО/ЦС или их компонента.

Показатели категории «*Переносимость*» (рис. 9) используются для оценки степени результативности и эффективности переноса ПО/ЦС или их компонента из одной программно-аппаратной среды в другую. Показатели группы «*Адаприруемость*» используются для оценки адаптируемости ПО/ЦС к различным программным и аппаратным средствам. Показатели группы

«*Устанавливаемость*» используются для оценки степени эффективности и результативности успешной установки и/или удаления программного обеспечения или системы в указанной среде. Показатели группы «*Взаимозаменяемость*» используются для оценки заменяемости ПО/ЦС другим ПО/ЦС для тех же целей и в той же окружающей среде.

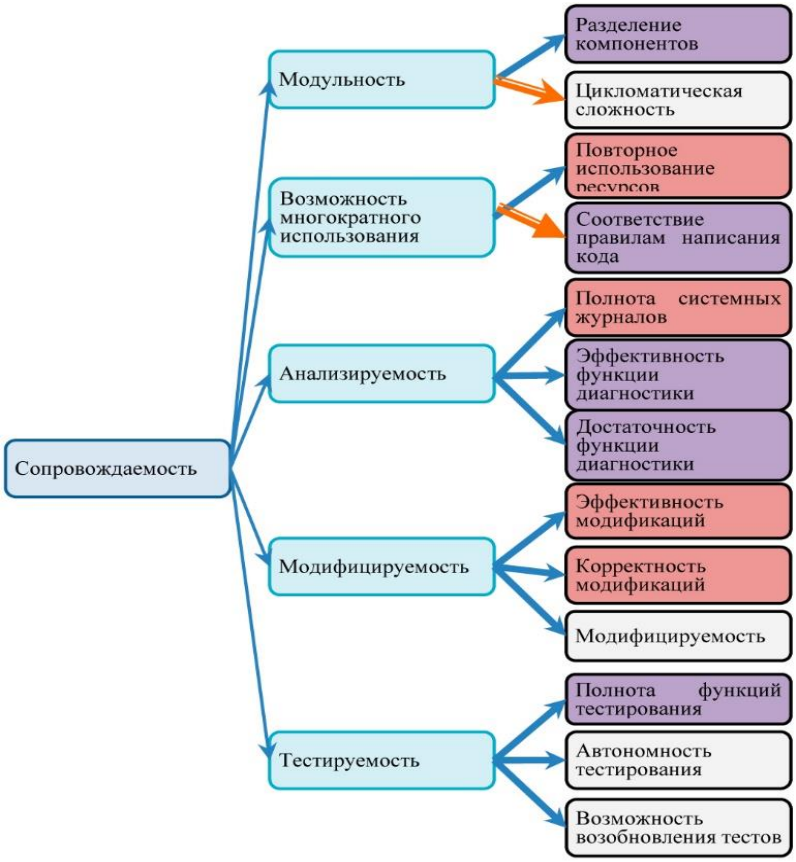

Рис. 8. Структура категории качества «Сопровождаемость»

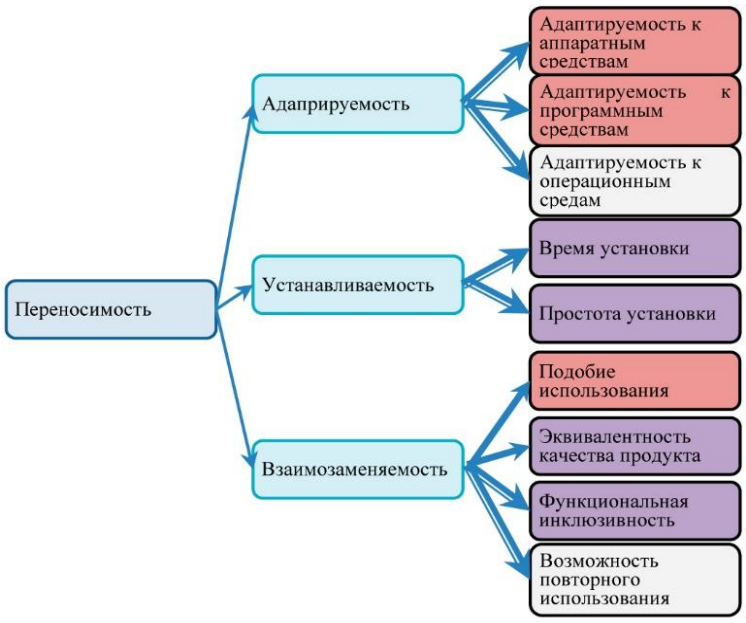

Рис. 9. Структура категории качества «Переносимость»

Рис. 10. Структура категории качества «Совместимость»

Показатели категории «*Совместимость*» (рис. 10) используются для оценки степени, в которой ПО/ЦС или их компонент могут обмениваться информацией с другими ПО/ЦС или компонентами и/или выполнять требуемые функции в той же аппаратной или программной среде. Показатели группы «*Сосуществование*» используются для оценки выполнения программным обеспечением / цифровой системой заявленных функций при совместном использовании общей среды и ресурсов с другими ПО/ЦС без отрицательного влияния на любое другое ПО/ЦС. Показатели группы «*Интероперабельность*» оценивают степень успешности обмена и использования информации двумя или более ЦС / ПО или компонентов.

Показатели категории «*Защищенность*» (рис. 11) используются для оценки степени защиты информации и данных программным обеспечением / цифровой системой. Показатели группы «*Конфиденциальность*» используют для оценки степени, в которой программное обеспечение / цифровая система гарантируют доступность данных только для зарегистрированных пользователей. Показатели группы «*Целостность*» используются для оценки степени предотвращения ПО/ ЦС или их компонентом несанкционированного доступа к программам, данным или к их модификациям. Показатели группы «*Неподдельность*» используются для оценки степени установления и подтверждения факта совершения определенного действия в ПО/ЦС. Показатели группы «*Отслеживаемость*» используются для оценки степени прослеживаемости действий субъекта. Показатели группы «*Подлинность*» используются для оценки достоверности заявленных данных о предмете или ресурсе.

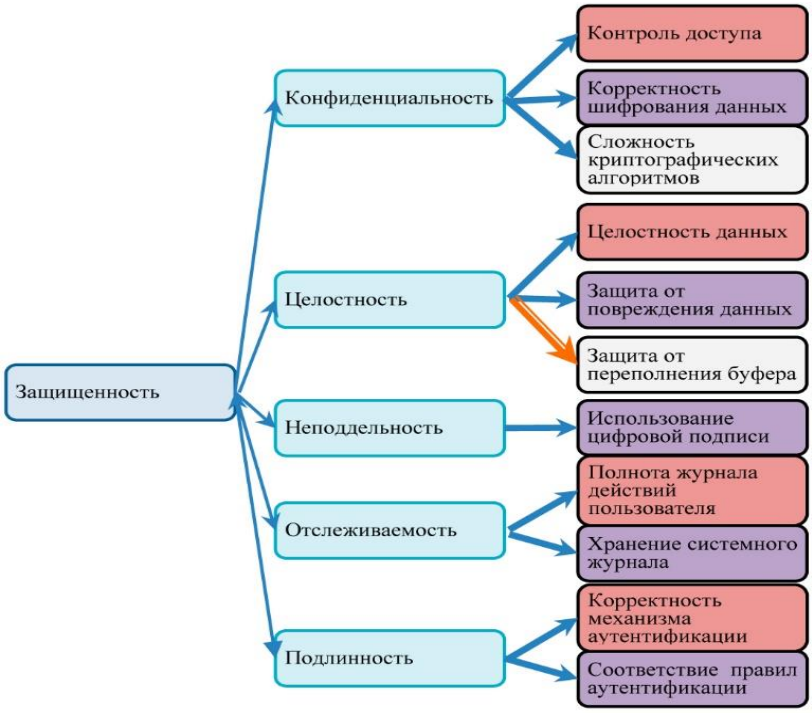

Рис. 11. Структура категории качества «Защищенность»

С учетом особенностей жизненного цикла программного обеспечения / цифровой системы распределение категорий и групп показателей качества представим в виде:

- Стадия проектирования – необходимо применять категории качества: функциональная полнота, функциональная корректность, функциональная целесообразность и уровень потенциальных возможностей;
- Стадии разработки и испытаний программного продукта/цифровой системы – целесообразно использовать группы показателей: функциональная пригодность, уровень производительности, совместимость, удобство использования, надежность, защищенность, сопровождаемость, переносимость, а также гибкость структур данных;
- Стадия внедрения системы – целесообразно использовать группы показателей: интероперабельность, управляемость, завершенность, готовность, изучаемость, тестируемость, анализируемость, адаптируемость, устанавливаемость;
- Стадии эксплуатации системы – необходимо обратить внимание категории качества: уровень производительности, удобство использования, надежность, защищенность, сопровождаемость, переносимость, а также, целесообразно применение модели качества при использовании (см. рис. 1).

Интегральным показателем качества программного обеспечения / цифровой системы на стадии эксплуатации можно использовать эффективность системы при выполнении функций, определенных спецификацией на систему.

3 Структурно-функциональная модель оценки качества

Модель качества можно определить как множество характеристик и взаимосвязей между ними, обеспечивающих основу для определения требований к качеству и оценки качества [5, 13, 15, 16]. На основе определений качества можно определить формальную модель качества программного обеспечения / цифровой системы как общесистемную модель качества результата деятельности (продукта, услуги, процесса).

Качество программного обеспечения / цифровой системы можно определить функцией вида:

$$Sq=F(X,P), \quad (1)$$

где Sq – степень качества, F – функция, определяющая степень качества на основе соответствия характеристики $\mathbf{X}=\{X_1,\ldots,X_n\}$ программного обеспечения / цифровой системы требуемой комбинации свойств $\mathbf{P}=\{P_1,\ldots,P_n\}$, установленных требованиями.

Характеристика качества программного обеспечения / цифровой системы является структурным многоуровневым объектом, определяющимся как набор свойств, выраженных числовыми и лингвистическими оценками. Характеристику качества можно декомпозировать на 4 уровня:

1. Фактор качества.
2. Критерий качества.
3. Метрика.
4. Оценочный элемент (элемент показателя качества).

Например, для фактора метрики «*Контроль доступа*» (критерий качества – «*Контроль доступа*», фактор – «*Защищенность*») оценочными элементами будут: число конфиденциальных элементов данных, доступ к которым разрешен без автоматизации и число конфиденциальных элементов данных, доступ к которым ограничен.

Фактор качества программного обеспечения / цифровой системы – это нефункциональное требование к программного обеспечения / цифровой системы, которое является требованием, повышающим качество ПО/ЦС. Факторы качества программного продукта/цифровой системы, критерии и метрики им соответствующие представлены на рис. 4-11.

В модели оценивания качества программного обеспечения / цифровой системы (1) требуемые наборы свойств $\mathbf{P}=\{P_1,\ldots,P_n\}$ являются рассмотренными ранее характеристиками, которые нужно выбрать в качестве эталонных с целью сопоставления при оценке качества ПО/ЦС.

Функция F, определяющая степень соответствия программного обеспечения / цифровой системы требуемым наборам свойств $\mathbf{P}=\{P_1,\ldots,P_n\}$, является функцией агрегации (например, среднее, средневзвешенное, и т.д.), основанной на свертки характеристик качества $\mathbf{X}=\{X_1,\ldots,X_n\}$ всех уровней.

Так как состав и отношения характеристик качества $\mathbf{X}=\{X_1,\ldots,X_n\}$ определяют в большой степени результат применения выбранной функции оценивания степени качества, то совокупность и структуру характеристик качества можно считать структурной моделью качества программного обеспечения / цифровой системы. В работе [17] представлен рекурсивный алгоритм оценки интегрального качества системы на основе структурно-функциональной модели, представленной в настоящем разделе.

Заключение

В заключение, необходимо отметить, что характеристики качества программного продукта цифровой системы, рассмотренные в докладе, могут быть использованы при формировании спецификаций требований, при сравнительном анализе, оценке и обосновании технических решений, при настройке и проведении испытаний, а также при контроле качества функционирования создаваемых, модернизируемых и эксплуатируемых систем критической информационной инфраструктуры.

Изложенные подходы заложены в процесс обеспечения качества программного обеспечения систем верхнего уровня АСУ ТП, разрабатываемого ИПУ РАН.

Литература

1. *Karnouskos S., Sinha R., Leitão P., Ribeiro L., Strasser T.I.* The Applicability of ISO/IEC 25023 Measures to the Integration of Agents and Automation Systems // Proceedings of the IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. 2018. – P.2927-2934.
2. *Sakrutina E., Kalashnikov A.* Towards the Issue of the Cybersecurity Analysis of a Significant Object of Critical Information Infrastructure // Proceedings of the 2020 13th International Conference “Management of large-scale system development” (MLSD). 2020. – P.1-5.
3. ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003): Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности.
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2021: Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования.
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25000-2021: Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Руководство.
6. *Nakai H., Tsuda N., Honda K., Washizaki H., Fukazawa Y.* A SQuaRE-based software quality evaluation framework and its case study // Proceedings of the 2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON). 2016. – P.3704-3707.
7. *Kamal Kaur R., Pandey B., Singh L.K.* Dependability analysis of safety critical systems: Issues and challenges // Annals of Nuclear Energy. Vol. 120. 2018. – P.127-154
8. *Aziz M.N., Sapta I.M., and Rochimah S.* Security Characteristic Evaluation Based on ISO/IEC 25023 Quality Model, Case Study: Laboratory Management Information System // Proceedings of the 2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS). 2018. – P.332-336.
9. *Nakai H., Tsuda N., Honda K., Washizaki H., Fukazawa Y.* Initial Framework for Software Quality Evaluation Based on ISO/IEC 25022 and ISO/IEC 25023 // Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C). 2016. – P.410-411.
10. *Malhotra R., Gupta S., Singh T.* A Systematic Review on Application of Deep Learning Techniques for Software Quality Predictive Modeling // Proceedings of the 2020 International Conference on Computational Performance Evaluation (ComPE). 2020. – P.332-337.
11. *Jharko E.* Some Aspects of Quality Assurance in the Development of Digital Systems // Proceedings of the 2021 14th International Conference Management of large-scale system development (MLSD), 2021. – P.1-5.
12. *Jharko E.* Life Cycle and Quality Assurance of Software for Systems of Critical Information Infrastructure Facilities // Proceedings of the 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). 2021. – P.440-444.
13. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015: Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Модели качества систем и программных продуктов.
14. *Malhotra R., Khanna M.* Common threats to software quality predictive modeling studies using search-based techniques // Proceedings of the 2016 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI). 2016. – P.554-560.
15. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25022-2021: Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Измерение качества при использовании.
16. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25023-2021: Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Измерения качества системы и программной продукции.
17. *Jharko E.* Ensuring the Software Quality for Critical Infrastructure Objects // IFAC-PapersOnLine. Vol. 54. 2021, №13. – P.499-504.