

УДК 004.052

А.А. Гордеев¹, В.С. Харченко²¹ Севастопольский институт банковского дела Университета банковского дела Национального банка Украины, Севастополь² Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

ЭВОЛЮЦИЯ МОДЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ: МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА В КОНТЕКСТЕ СТАНДАРТА ISO 25010

Проведен эволюционный анализ моделей качества (МК) программного обеспечения (ПО) за последние сорок лет, начиная от одной из первых МК ПО Мак-Кола и заканчивая моделью, представленной в стандарте ISO 25010. Для анализа отобраны 9 моделей, которые разделены на множества базовых и корпоративных МК с учетом их полноты, детальности и значимости. Обоснован выбор моделей Мак-Кола (1977), IEEE 1219 (1993), ISO9126-1 (2001), ISO 25010 (2010) в качестве базовых. Структура модели качества описывается иерархией, элементами которой являются множества характеристик (подхарактеристик, подподхарактеристик) и отношений подчиненности между ними. Для оценки сложности и полноты МК ПО, а также их сравнения с последней базовой моделью ISO 25010 введены специальные частные и общие метрики. Разработана методика для сравнительного анализа МК ПО. Получена аналитическая зависимость роста сложности моделей, представленная линейной функцией. Проведен анализ эволюции отдельных характеристик качества (функциональной пригодности, эффективности, надежности, удобства в использовании, безопасности и других). Сформулированы выводы о тенденциях изменения МК ПО и сделан прогноз их развития. Определены направления дальнейших исследований, связанных с проведением детального семантического анализа характеристик и подхарактеристик, эволюции метрик и методик оценки.

Ключевые слова: модель качества, эволюционный анализ, программное обеспечение.

1. Введение

1.1. Мотивация

Началом активной разработки и использования программных средств как неотъемлемой части компьютеров можно считать середину прошлого века. Затем в 1968 году на конференции НАТО (NATO Software Engineering Conference [1]), которая проходила в немецком городе Гармиш, впервые появился термин «Программная инженерия» (Software engineering) и была сформулирована одноименная концепция. За период развития программной инженерии, как самостоятельного направления в инженерной практике, а затем и формирования ее как системной науки, одним из ключевых являлся вопрос качества программного обеспечения (ПО).

Качество ПО – это степень, с которой программный продукт удовлетворяет установленным и подразумеваемым требованиям при его применении при указанных условиях [2]. Модель качества ПО – это набор характеристик и отношений между ними, которые фактически обеспечивают основу для определения требований к качеству и его оценки [3]. За прошедшие десятилетия предложено множество моделей качества программного обеспечения (МКПО). Структура модели качества описывается иерархией, элементами которой является множества характеристик (подхарактеристики, подподхарактеристики) и отношений подчиненности между ними. Характеристики (подхарактеристики, подподхарактеристики), вошедшие в данные модели, как правило, являются

основой при формировании требований к программному обеспечению конкретных проектов.

Побудительным мотивом написания данной статьи явился выпуск серии стандартов ISO25000 – нового поколения нормативных документов Международной организации по стандартизации в области программной инженерии, связанных с нормированием и оценением качества ПО. Это был не только важный шаг в совершенствовании МКПО, а также знаковое событие с точки зрения эволюции моделей, отразивших изменения в программной инженерии.

1.2. Исследуемые МКПО

За почти полувековую историю развития программной инженерии предложены десятки различных моделей качества ПО, но только часть из них стала широко известной и применяется при формировании требований. Предварительный анализ работ, посвященных описанию моделей качества ПО [2 – 19], позволил определить наиболее значимые из них. В табл. 1 систематизирована информация о таких моделях с указанием не только библиографических данных, а и двух важных параметров – количества уровней иерархии и количества характеристик/подхарактеристик по уровням/подуровням.

1.3. Методы анализа моделей качества ПО

Многообразие моделей качества ПО привело к появлению работ, направленных на их сравнительный анализ. Такие исследования интенсифицировались в 90-е годы перед изданием стандарта ISO 9126 и в первые годы его практического использования.

Таблица 1

Наиболее известные модели качества ПО

№	Название МКПО	Год публикации	Кол-во уровней модели	Кол-во характеристик/ подхарактеристик/ подподхарактеристик	Авторство	Источник
1	МакКола	1977	2	11/35	Джон МакКол	[4]
2	Боэма	1978	3	3/8/18	Боэм	[5]
3	Гези	1991	1	8	Карло Гези	[6]
4	FURPS	1992	2	5/25	Грейди Б. и компания Hewlett Packard	[7]
5	IEEE	1993	2	6/19	IEEE	[8]
6	Дромера	1995	2	4/13	Дромер	[9]
7	ISO 9126-1	2001	2	6/19	ISO	[20]
8	QMOOD	2002	1	6	Дж. Бонсия	[11]
9	ISO 25010	2010	2	8/31	ISO	[2]

Исследование работ в области анализа моделей качества ПО [3, 11 – 25] показывает, что:

- они сводятся, как правило, к анализу характеристик, а подхарактеристики учитываются слабо либо вообще не являются предметом анализа;
- не учитывается современный стандарт ISO 25010, в котором описана последняя (новая) модель качества ПО, принятая авторитетной международной институцией;
- формальный аппарат описания МКПО базируется на вербально-графическом (табличном) представлении моделей, а не их описании в виде множеств и отношений между ними;
- отсутствует формализованная процедура анализа МКПО.

Такая ситуация, учитывая важность модельной базы качества, требует проведения дополнительных исследований в этой области.

1.4. Постановка задачи

Появление каждой новой модели качества является отражением постоянно изменяющихся (повышающихся, расширяющихся и детализируемых) требований к ПО. Это обусловлено:

- динамичным развитием программных продуктов и технологий;
- повышением влияния качества программных средств на функциональные возможности, производительность, надежность, безопасность и другие характеристики компьютерных систем и технических систем в целом;
- развитием нормативной базы на международном, национальных и корпоративных уровнях.

Многообразие моделей качества ПО и периодичность их появления побудили авторов провести анализ эволюции известных моделей качества ПО в контексте стандарта ISO 25010.

В связи с этим, целью статьи является разработка формализованного описания МКПО, позволяюще-

го представить их в компактном виде, сравнительный анализ моделей качества ПО и исследование их изменений в течение более чем 40-летнего периода эволюции, которые бы позволили сделать выводы и спрогнозировать возможные направления эволюции.

2. Систематизированное описание МКПО

2.1. Принципы описания

Первоочередной задачей при анализе эволюции моделей качества ПО является задача перехода от их вербального и структурно-табличного представления (рис. 1 – 9) к формальному описанию в терминах алгебры множеств и отношений. Для описания моделей были определены множества элементов модели (МЭМ) качества ПО и отношений элементов модели (МОЭМ). Множество элементов модели качества ПО имеет следующий вид:

$$MЭМ_i = ЭМ_i^j, ЭМ_i^{j+1}, \dots, ЭМ_i^n,$$

где i – индекс модели; j – индекс элемента модели.

Для описания взаимосвязи характеристик, подхарактеристик различного уровня между собой используется предикат (отношение) R – «предок-потомок»:

$$ЭМ_i^j R ЭМ_i^k,$$

где ЭМ_i^j – предок, ЭМ_i^k – потомок.

Таким образом, каждая модель качества ПО МК_i описывается двумя множествами (множеством элементов модели и множеством отношений элементов модели – R) и таблицей семантического содержания модели, необходимой для определения соответствия элементов множества МЭМ и их названий.

Опишем модели качества ПО.

2.2. Модель качества МакКола

Опишем модель МакКола. Для этого определим множества МЭМ и МОЭМ, а также таблицу семантического содержания (табл. 2):

$$MЭМ_1 = \left\{ \begin{array}{l} ЭМ_1^1, ЭМ_1^2, ЭМ_1^3, ЭМ_1^4, ЭМ_1^5, ЭМ_1^6, ЭМ_1^7, ЭМ_1^8, ЭМ_1^9, ЭМ_1^{10}, ЭМ_1^{11}, ЭМ_1^{12}, ЭМ_1^{13}, \\ ЭМ_1^{14}, ЭМ_1^{15}, ЭМ_1^{16}, ЭМ_1^{17}, ЭМ_1^{18}, ЭМ_1^{19}, ЭМ_1^{20}, ЭМ_1^{21}, ЭМ_1^{22}, ЭМ_1^{23}, ЭМ_1^{24}, ЭМ_1^{25}, \\ ЭМ_1^{26}, ЭМ_1^{27}, ЭМ_1^{28}, ЭМ_1^{29}, ЭМ_1^{30}, ЭМ_1^{31}, ЭМ_1^{32}, ЭМ_1^{33}, ЭМ_1^{34}, ЭМ_1^{35}, ЭМ_1^{36}, ЭМ_1^{37}, \\ ЭМ_1^{38}, ЭМ_1^{39}, ЭМ_1^{40}, ЭМ_1^{41}, ЭМ_1^{42}, ЭМ_1^{43}, ЭМ_1^{44}, ЭМ_1^{45}, ЭМ_1^{46}, ЭМ_1^{47} \end{array} \right\}$$

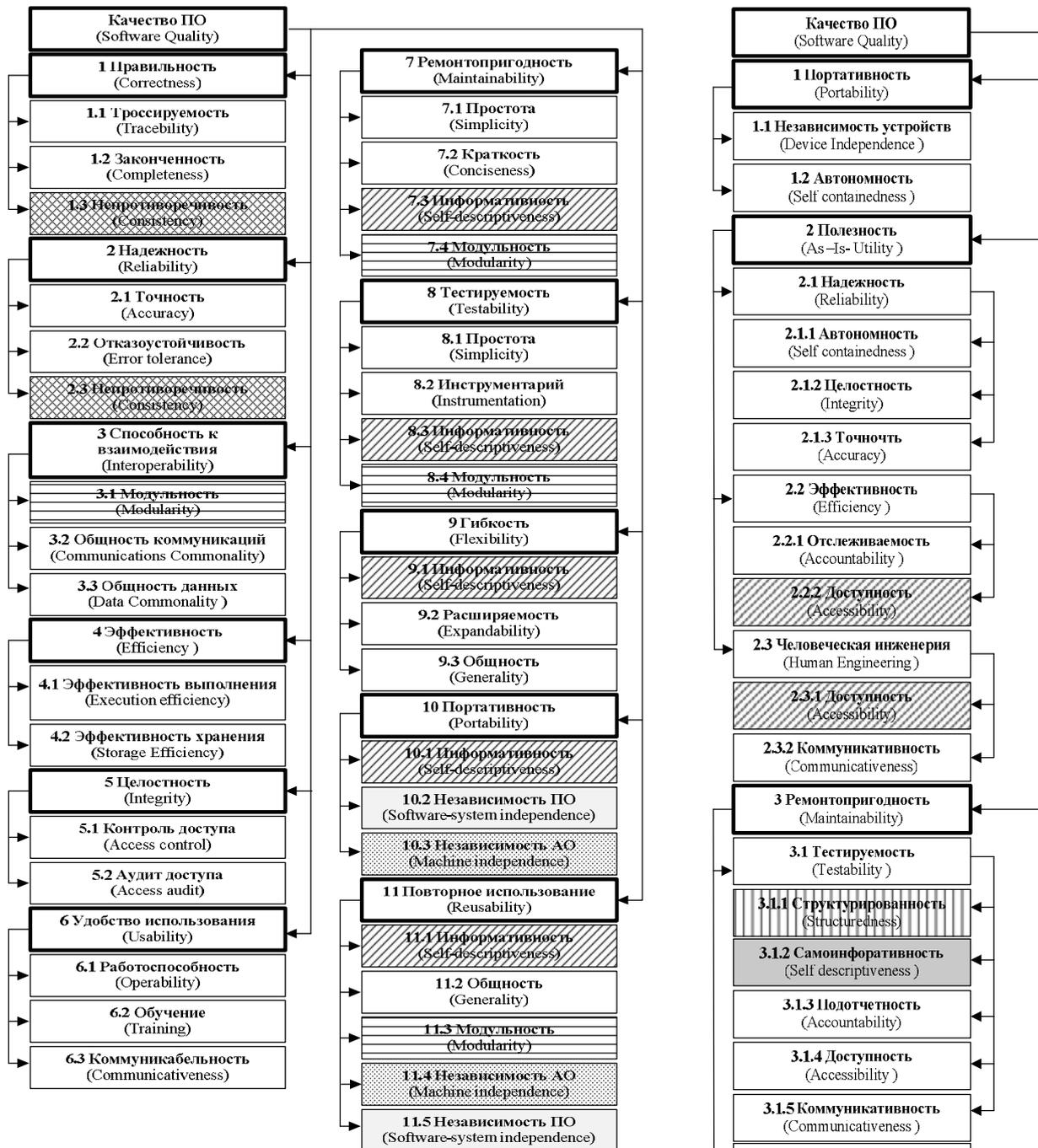


Рис. 1. Модель качества ПО МакКола



Рис. 2. Модель качества QMOOD



Рис. 3. Модель качества Ghezzi



Рис. 4. Модель качества ПО Бозма



Рис. 5. Модель качества FURPS

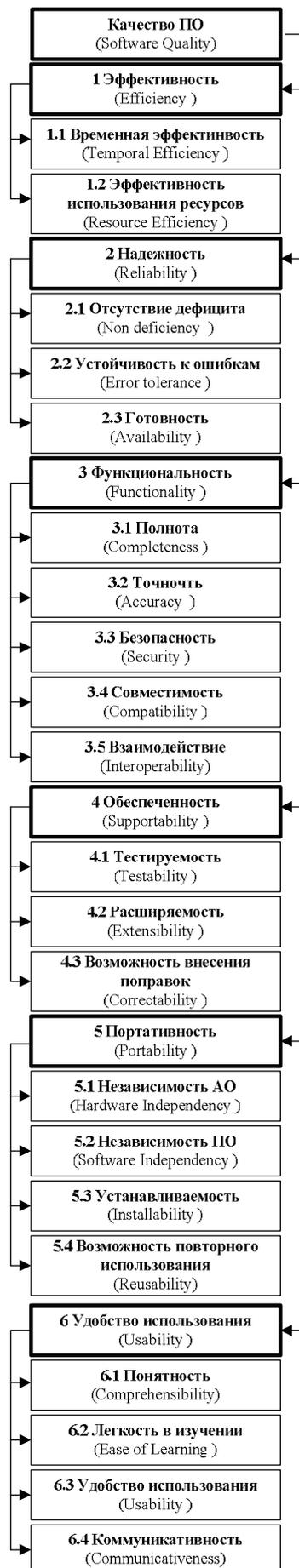


Рис. 6. Модель качества IEEE

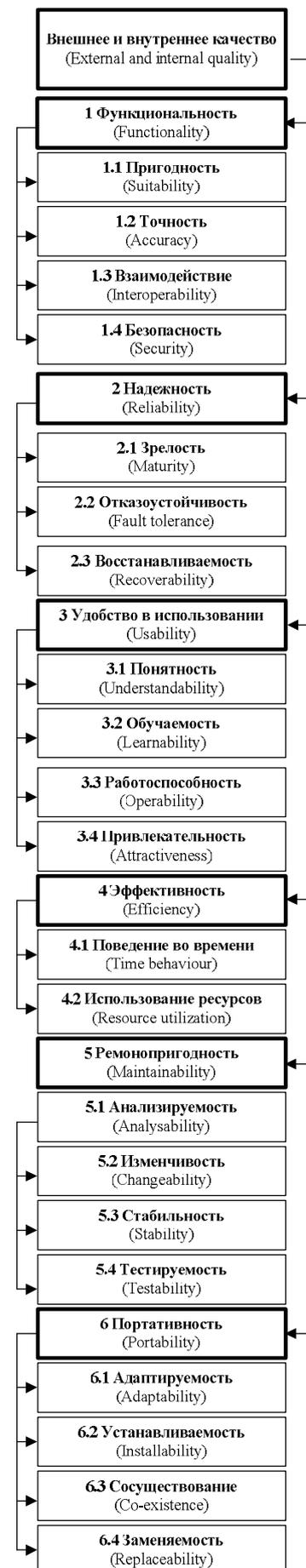


Рис. 7. Модель качества ISO 9126

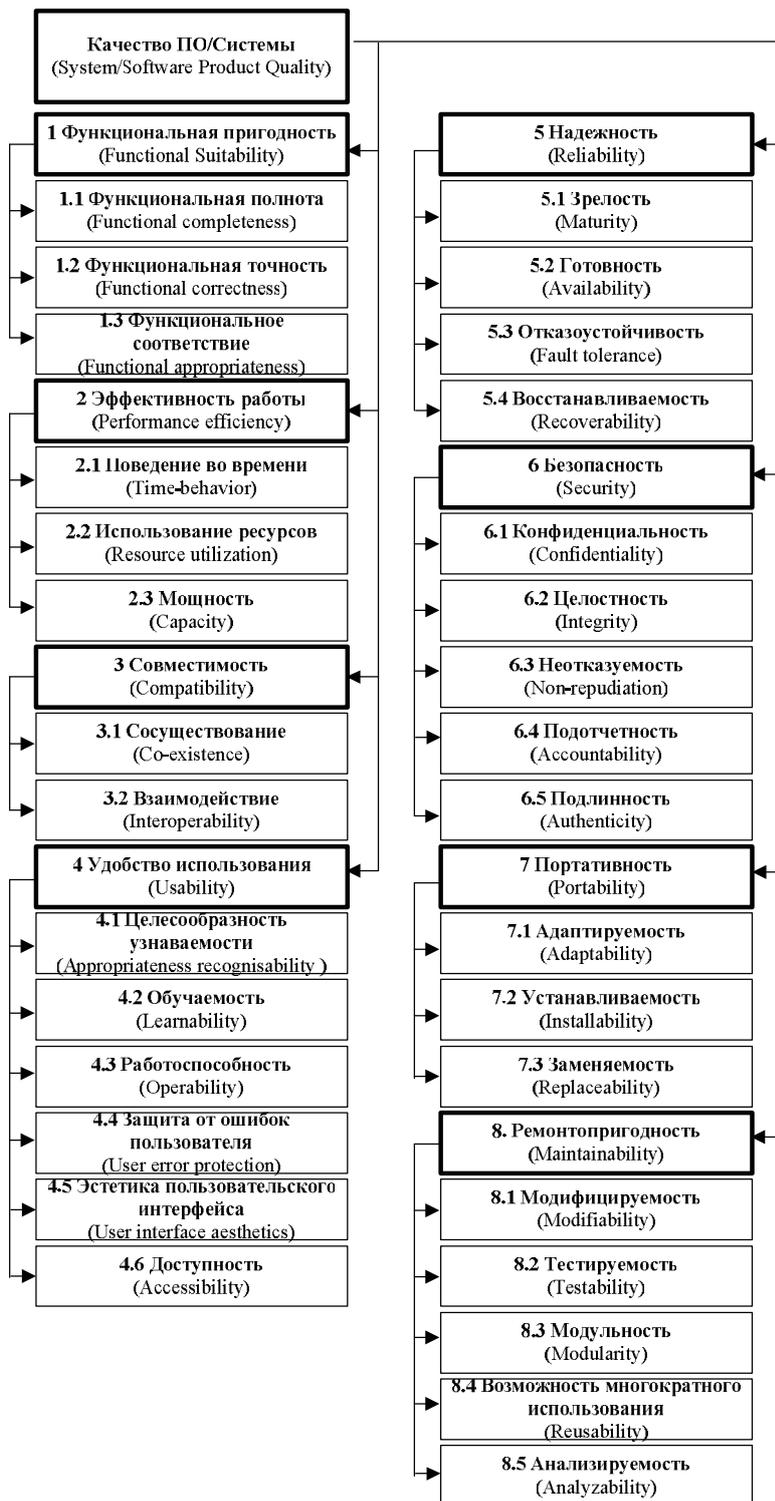


Рис. 8. Модель качества ПО ISO 25010

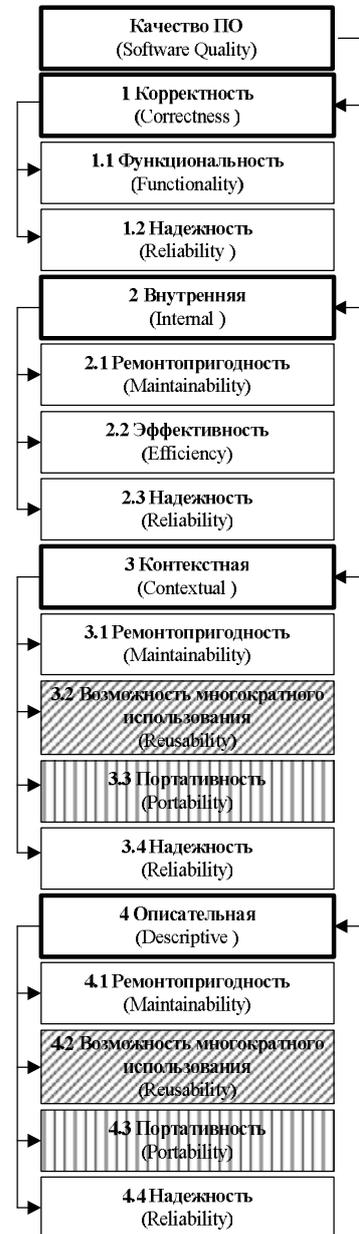


Рис. 9. Модель качества Дромера

$$MO\mathcal{E}M_1 = \left\{ \begin{array}{l} \mathcal{E}M_1^1 R\mathcal{E}M_1^2, \mathcal{E}M_1^1 R\mathcal{E}M_1^6, \mathcal{E}M_1^1 R\mathcal{E}M_1^{10}, \mathcal{E}M_1^1 R\mathcal{E}M_1^{14}, \mathcal{E}M_1^1 R\mathcal{E}M_1^{17}, \\ \mathcal{E}M_1^1 R\mathcal{E}M_1^{20}, \mathcal{E}M_1^1 R\mathcal{E}M_1^{24}, \mathcal{E}M_1^1 R\mathcal{E}M_1^{28}, \mathcal{E}M_1^1 R\mathcal{E}M_1^{34}, \mathcal{E}M_1^1 R\mathcal{E}M_1^{38}, \\ \mathcal{E}M_1^1 R\mathcal{E}M_1^{42}, \mathcal{E}M_1^2 R\mathcal{E}M_1^3, \mathcal{E}M_1^2 R\mathcal{E}M_1^4, \mathcal{E}M_1^2 R\mathcal{E}M_1^5, \mathcal{E}M_1^2 R\mathcal{E}M_1^7, \\ \mathcal{E}M_1^6 R\mathcal{E}M_1^8, \mathcal{E}M_1^6 R\mathcal{E}M_1^9, \mathcal{E}M_1^{10} R\mathcal{E}M_1^{11}, \mathcal{E}M_1^{10} R\mathcal{E}M_1^{12}, \mathcal{E}M_1^{10} R\mathcal{E}M_1^{13}, \\ \mathcal{E}M_1^{14} R\mathcal{E}M_1^{15}, \mathcal{E}M_1^{14} R\mathcal{E}M_1^{16}, \mathcal{E}M_1^{17} R\mathcal{E}M_1^{18}, \mathcal{E}M_1^{17} R\mathcal{E}M_1^{19}, \mathcal{E}M_1^{20} R\mathcal{E}M_1^{21}, \\ \mathcal{E}M_1^{20} R\mathcal{E}M_1^{22}, \mathcal{E}M_1^{20} R\mathcal{E}M_1^{23}, \mathcal{E}M_1^{24} R\mathcal{E}M_1^{25}, \mathcal{E}M_1^{24} R\mathcal{E}M_1^{26}, \mathcal{E}M_1^{24} R\mathcal{E}M_1^{27}, \\ \mathcal{E}M_1^{24} R\mathcal{E}M_1^{28}, \mathcal{E}M_1^{28} R\mathcal{E}M_1^{29}, \mathcal{E}M_1^{28} R\mathcal{E}M_1^{30}, \mathcal{E}M_1^{28} R\mathcal{E}M_1^{31}, \mathcal{E}M_1^{28} R\mathcal{E}M_1^{32}, \\ \mathcal{E}M_1^{28} R\mathcal{E}M_1^{33}, \mathcal{E}M_1^{34} R\mathcal{E}M_1^{35}, \mathcal{E}M_1^{34} R\mathcal{E}M_1^{36}, \mathcal{E}M_1^{34} R\mathcal{E}M_1^{37}, \mathcal{E}M_1^{38} R\mathcal{E}M_1^{39}, \mathcal{E}M_1^{38} R\mathcal{E}M_1^{40}, \\ \mathcal{E}M_1^{38} R\mathcal{E}M_1^{41}, \mathcal{E}M_1^{42} R\mathcal{E}M_1^{43}, \mathcal{E}M_1^{42} R\mathcal{E}M_1^{44}, \mathcal{E}M_1^{42} R\mathcal{E}M_1^{45}, \mathcal{E}M_1^{42} R\mathcal{E}M_1^{46}, \\ \mathcal{E}M_1^{42} R\mathcal{E}M_1^{47} \end{array} \right.$$

Таблица 2

Таблица семантического содержания модели МакКола

Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели
ЭМ ₁ ¹	Качество ПО	ЭМ ₁ ¹⁷	5 Целостность	ЭМ ₁ ³³	8.4 Модульность
ЭМ ₁ ²	1 Правильность	ЭМ ₁ ¹⁸	5.1 Контроль доступа	ЭМ ₁ ³⁴	9 Гибкость
ЭМ ₁ ³	1.1 Трассируемость	ЭМ ₁ ¹⁹	5.2 Аудит доступа	ЭМ ₁ ³⁵	9.1 Информативность
ЭМ ₁ ⁴	1.2 Законченность	ЭМ ₁ ²⁰	6 Удобство использования	ЭМ ₁ ³⁶	9.2 Расширяемость
ЭМ ₁ ⁵	1.3 Непротиворечивость	ЭМ ₁ ²¹	6.1 Работоспособность	ЭМ ₁ ³⁷	9.3 Общность
ЭМ ₁ ⁶	2 Надежность	ЭМ ₁ ²²	6.2 Обучение	ЭМ ₁ ³⁸	10 Портативность
ЭМ ₁ ⁷	2.1 Точность	ЭМ ₁ ²³	6.3 Коммуникабельность	ЭМ ₁ ³⁹	10.1 Информативность
ЭМ ₁ ⁸	2.2 Отказоустойчивость	ЭМ ₁ ²⁴	7 Ремонтпригодность	ЭМ ₁ ⁴⁰	10.2 Независимость ПО
ЭМ ₁ ⁹	2.3 Непротиворечивость	ЭМ ₁ ²⁵	7.1 Простота	ЭМ ₁ ⁴¹	10.3 Независимость АО
ЭМ ₁ ¹⁰	3 Сп-ть к взаимодействия	ЭМ ₁ ²⁶	7.2 Краткость	ЭМ ₁ ⁴²	11 Повт. использование
ЭМ ₁ ¹¹	3.1 Модульность	ЭМ ₁ ²⁷	7.3 Информативность	ЭМ ₁ ⁴³	11.1 Информативность
ЭМ ₁ ¹²	3.2 Общн. коммуникаций	ЭМ ₁ ²⁸	7.4 Модульность	ЭМ ₁ ⁴⁴	11.2 Общность
ЭМ ₁ ¹³	3.3 Общность данных	ЭМ ₁ ²⁹	8 Тестируемость	ЭМ ₁ ⁴⁵	11.3 Модульность
ЭМ ₁ ¹⁴	4 Эффективность	ЭМ ₁ ³⁰	8.1 Простота	ЭМ ₁ ⁴⁶	11.4 Независимость АО
ЭМ ₁ ¹⁵	4.1 Эффект. выполнения	ЭМ ₁ ³¹	8.2 Инструментарий	ЭМ ₁ ⁴⁷	11.5 Независимость ПО
ЭМ ₁ ¹⁶	4.2 Эффект. хранения	ЭМ ₁ ³²	8.3 Информативность		

2.3. Модель качества Бозма

Опишем модель Бозма. Для этого определим

множества МЭМ и МОЭМ, а также таблицу семантического содержания (табл. 3):

$$MЭМ_2 = \left\{ ЭМ_2^1, ЭМ_2^2, ЭМ_2^3, ЭМ_2^4, ЭМ_2^5, ЭМ_2^6, ЭМ_2^7, ЭМ_2^8, ЭМ_2^9, ЭМ_2^{10}, ЭМ_2^{11}, ЭМ_2^{12}, ЭМ_2^{13}, \right. \\
 \left. ЭМ_2^{14}, ЭМ_2^{15}, ЭМ_2^{16}, ЭМ_2^{17}, ЭМ_2^{18}, ЭМ_2^{19}, ЭМ_2^{20}, ЭМ_2^{21}, ЭМ_2^{22}, ЭМ_2^{23}, ЭМ_2^{24}, ЭМ_2^{25}, \right. \\
 \left. ЭМ_2^{26}, ЭМ_2^{27}, ЭМ_2^{28}, ЭМ_2^{29}, ЭМ_2^{30} \right\}, \\
 MOЭМ_2 = \left\{ \begin{array}{l} ЭМ_2^1 R ЭМ_2^2, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^3, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^4, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^5, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^6, \\ ЭМ_2^1 R ЭМ_2^7, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^8, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^9, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{10}, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{11}, \\ ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{12}, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{13}, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{14}, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{15}, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{16}, \\ ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{17}, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{18}, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{19}, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{20}, \\ ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{21}, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{22}, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{23}, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{24}, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{25}, \\ ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{26}, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{27}, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{28}, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{29}, ЭМ_2^1 R ЭМ_2^{30} \end{array} \right\}$$

Таблица 3

Таблица семантического содержания модели Бозма

Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели
ЭМ ₂ ¹	Качество ПО	ЭМ ₂ ¹¹	2.2.1 Отслеживаемость	ЭМ ₂ ⁴¹	3.1.4 Дост. (Accessibility)
ЭМ ₂ ²	1 Портативность	ЭМ ₂ ¹²	2.2.2 Доступность	ЭМ ₂ ⁴²	3.1.5 Коммуникативность
ЭМ ₂ ³	1.1 Незав-сть устройств	ЭМ ₂ ¹³	2.3 Человеч. инженерия	ЭМ ₂ ⁴³	3.2 Понятность
ЭМ ₂ ⁴	1.2 Автономность	ЭМ ₂ ¹⁴	2.3.1 Доступность	ЭМ ₂ ⁴⁴	3.2.1 Четкость
ЭМ ₂ ⁵	2 Полезность	ЭМ ₂ ¹⁵	2.3.2 Коммуникативность	ЭМ ₂ ⁴⁵	3.2.2 Краткость
ЭМ ₂ ⁶	2.1 Надежность	ЭМ ₂ ¹⁶	3 Ремонтпригодность	ЭМ ₂ ⁴⁶	3.2.3 Структурированность
ЭМ ₂ ⁷	2.1.1 Автономность	ЭМ ₂ ¹⁷	3.1 Тестируемость	ЭМ ₂ ⁴⁷	3.2.4 Самоинформативность
ЭМ ₂ ⁸	2.1.2 Целостность	ЭМ ₂ ¹⁸	3.1.1 Структурированность	ЭМ ₂ ⁴⁸	3.3 Модифицируемость
ЭМ ₂ ⁹	2.1.3 Точность	ЭМ ₂ ¹⁹	3.1.2 Самоинформативность	ЭМ ₂ ⁴⁹	3.3.1 Структурированность
ЭМ ₂ ¹⁰	2.2 Эффективность	ЭМ ₂ ²⁰	3.1.3 Подотчетность	ЭМ ₂ ⁵⁰	3.3.2 Расширяемость

2.4. Модель качества Гези

Опишем модель Гези. Для этого определим множества МЭМ и МОЭМ, а также таблицу семантического содержания (табл. 4):

$$MЭМ_3 = \{ ЭМ_3^1, ЭМ_3^2, ЭМ_3^3, ЭМ_3^4, ЭМ_3^5, ЭМ_3^6, ЭМ_3^7, ЭМ_3^8, ЭМ_3^9 \}; \\
 MOЭМ_3 = \left\{ \begin{array}{l} ЭМ_3^1 R ЭМ_3^2, ЭМ_3^1 R ЭМ_3^3, ЭМ_3^1 R ЭМ_3^4, ЭМ_3^1 R ЭМ_3^5, ЭМ_3^1 R ЭМ_3^6, \\ ЭМ_3^1 R ЭМ_3^7, ЭМ_3^1 R ЭМ_3^8, ЭМ_3^1 R ЭМ_3^9 \end{array} \right\}$$

Таблица 4

Таблица семантического содержания модели Гези

Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели
ЭМ ₃ ¹	Качество ПО	ЭМ ₃ ³	3 Надежность	ЭМ ₃ ⁷	6 Возм. многократного использования
ЭМ ₃ ²	1 Целостность	ЭМ ₃ ⁴	4 Гибкость	ЭМ ₃ ⁸	7 Удобство использования
ЭМ ₃ ³	2 Ремонтпригодность	ЭМ ₃ ⁵	5 Портативность	ЭМ ₃ ⁹	8 Точность

2.5. Модель качества FURPS

Опишем модель FURPS. Для этого определим

множество МЭМ, множество МОЭМ, а также таблицу семантического содержания (табл. 5):

$$\begin{aligned}
 \text{МЭМ}_4 &= \left\{ \begin{aligned} &\text{ЭМ}_4^1, \text{ЭМ}_4^2, \text{ЭМ}_4^3, \text{ЭМ}_4^4, \text{ЭМ}_4^5, \text{ЭМ}_4^6, \text{ЭМ}_4^7, \text{ЭМ}_4^8, \text{ЭМ}_4^9, \text{ЭМ}_4^{10}, \text{ЭМ}_4^{11}, \text{ЭМ}_4^{12}, \text{ЭМ}_4^{13}, \\ &\text{ЭМ}_4^{14}, \text{ЭМ}_4^{15}, \text{ЭМ}_4^{16}, \text{ЭМ}_4^{17}, \text{ЭМ}_4^{18}, \text{ЭМ}_4^{19}, \text{ЭМ}_4^{20}, \text{ЭМ}_4^{21}, \text{ЭМ}_4^{22}, \text{ЭМ}_4^{23}, \text{ЭМ}_4^{24}, \text{ЭМ}_4^{25}, \\ &\text{ЭМ}_4^{26}, \text{ЭМ}_4^{27}, \text{ЭМ}_4^{28}, \text{ЭМ}_4^{29}, \text{ЭМ}_4^{30}, \text{ЭМ}_4^{31} \end{aligned} \right\}; \\
 \text{МОЭМ}_4 &= \left\{ \begin{aligned} &\text{ЭМ}_4^1 \text{РЭМ}_4^1, \text{ЭМ}_4^1 \text{РЭМ}_4^2, \text{ЭМ}_4^1 \text{РЭМ}_4^{11}, \text{ЭМ}_4^1 \text{РЭМ}_4^{15}, \text{ЭМ}_4^1 \text{РЭМ}_4^{22}, \\ &\text{ЭМ}_4^2 \text{РЭМ}_4^3, \text{ЭМ}_4^2 \text{РЭМ}_4^4, \text{ЭМ}_4^2 \text{РЭМ}_4^5, \text{ЭМ}_4^2 \text{РЭМ}_4^7, \text{ЭМ}_4^2 \text{РЭМ}_4^8, \\ &\text{ЭМ}_4^3 \text{РЭМ}_4^9, \text{ЭМ}_4^3 \text{РЭМ}_4^{10}, \text{ЭМ}_4^{11} \text{РЭМ}_4^{12}, \text{ЭМ}_4^{11} \text{РЭМ}_4^{13}, \text{ЭМ}_4^{11} \text{РЭМ}_4^{14}, \\ &\text{ЭМ}_4^{15} \text{РЭМ}_4^{16}, \text{ЭМ}_4^{15} \text{РЭМ}_4^{17}, \text{ЭМ}_4^{15} \text{РЭМ}_4^{18}, \text{ЭМ}_4^{15} \text{РЭМ}_4^{19}, \text{ЭМ}_4^{15} \text{РЭМ}_4^{20}, \\ &\text{ЭМ}_4^{19} \text{РЭМ}_4^{21}, \text{ЭМ}_4^{22} \text{РЭМ}_4^{23}, \text{ЭМ}_4^{22} \text{РЭМ}_4^{24}, \text{ЭМ}_4^{22} \text{РЭМ}_4^{25}, \text{ЭМ}_4^{22} \text{РЭМ}_4^{26}, \\ &\text{ЭМ}_4^{22} \text{РЭМ}_4^{27}, \text{ЭМ}_4^{22} \text{РЭМ}_4^{28}, \text{ЭМ}_4^{22} \text{РЭМ}_4^{29}, \text{ЭМ}_4^{22} \text{РЭМ}_4^{30}, \\ &\text{ЭМ}_4^{22} \text{РЭМ}_4^{31} \end{aligned} \right\}.
 \end{aligned}$$

Таблица 5

Таблица семантического содержания модели FURPS

Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели
ЭМ_4^1	Качество ПО	ЭМ_4^{11}	3.1 Частота и серьезность отказов	ЭМ_4^{21}	4.6 Исполыз. ресурсов
ЭМ_4^2	1 Функциональность			ЭМ_4^{22}	5 Обеспеченность
ЭМ_4^3	1.1 Совмещ. характеристик	ЭМ_4^{14}	3.2 Восстанавливаемость	ЭМ_4^{23}	5.1 Тестируемость
ЭМ_4^4	1.2 Мощности			ЭМ_4^{24}	5.2 Расширяемость
ЭМ_4^5	1.3 Безопасность			ЭМ_4^{25}	5.3 Адаптируемость
ЭМ_4^6	2 Удобство использования	ЭМ_4^{16}	4 Производительность	ЭМ_4^{26}	5.4 Ремонтпригодность
ЭМ_4^7	2.1 Человеческие факторы	ЭМ_4^{17}		4.1 Скорость	ЭМ_4^{27}
ЭМ_4^8	2.2 Эстетичность	ЭМ_4^{18}	4.2 Эффективность	ЭМ_4^{28}	5.6 Конфигурируемость
ЭМ_4^9	2.3 Пользов. документация	ЭМ_4^{19}	4.3 Готовность	ЭМ_4^{29}	5.7 Обслуживаемость
ЭМ_4^{10}	2.4 Материал обучения	ЭМ_4^{20}	4.4 Время на ответ	ЭМ_4^{30}	5.8 Устанавливаемость
ЭМ_4^{11}	3 Надежность	ЭМ_4^{21}	4.5 Время восстановления	ЭМ_4^{31}	5.9 Локализуемость

2.6. Модель качества IEEE

Опишем модель IEEE. Для этого определим

множество МЭМ, множество МОЭМ, а также таблицу семантического содержания (табл. 6):

$$\begin{aligned}
 \text{МЭМ}_5 &= \left\{ \begin{aligned} &\text{ЭМ}_5^1, \text{ЭМ}_5^2, \text{ЭМ}_5^3, \text{ЭМ}_5^4, \text{ЭМ}_5^5, \text{ЭМ}_5^6, \text{ЭМ}_5^7, \text{ЭМ}_5^8, \text{ЭМ}_5^9, \text{ЭМ}_5^{10}, \text{ЭМ}_5^{11}, \text{ЭМ}_5^{12}, \text{ЭМ}_5^{13}, \\ &\text{ЭМ}_5^{14}, \text{ЭМ}_5^{15}, \text{ЭМ}_5^{16}, \text{ЭМ}_5^{17}, \text{ЭМ}_5^{18}, \text{ЭМ}_5^{19}, \text{ЭМ}_5^{20}, \text{ЭМ}_5^{21}, \text{ЭМ}_5^{22}, \text{ЭМ}_5^{23}, \text{ЭМ}_5^{24}, \text{ЭМ}_5^{25}, \\ &\text{ЭМ}_5^{26}, \text{ЭМ}_5^{27}, \text{ЭМ}_5^{28} \end{aligned} \right\}; \\
 \text{МОЭМ}_5 &= \left\{ \begin{aligned} &\text{ЭМ}_5^1 \text{РЭМ}_5^1, \text{ЭМ}_5^1 \text{РЭМ}_5^2, \text{ЭМ}_5^1 \text{РЭМ}_5^3, \text{ЭМ}_5^1 \text{РЭМ}_5^4, \text{ЭМ}_5^1 \text{РЭМ}_5^5, \\ &\text{ЭМ}_5^2 \text{РЭМ}_5^6, \text{ЭМ}_5^2 \text{РЭМ}_5^7, \text{ЭМ}_5^2 \text{РЭМ}_5^8, \text{ЭМ}_5^2 \text{РЭМ}_5^9, \text{ЭМ}_5^2 \text{РЭМ}_5^{10}, \\ &\text{ЭМ}_5^3 \text{РЭМ}_5^{11}, \text{ЭМ}_5^3 \text{РЭМ}_5^{12}, \text{ЭМ}_5^3 \text{РЭМ}_5^{13}, \text{ЭМ}_5^3 \text{РЭМ}_5^{14}, \text{ЭМ}_5^3 \text{РЭМ}_5^{15}, \\ &\text{ЭМ}_5^4 \text{РЭМ}_5^{16}, \text{ЭМ}_5^4 \text{РЭМ}_5^{17}, \text{ЭМ}_5^4 \text{РЭМ}_5^{18}, \text{ЭМ}_5^4 \text{РЭМ}_5^{19}, \text{ЭМ}_5^4 \text{РЭМ}_5^{20}, \\ &\text{ЭМ}_5^5 \text{РЭМ}_5^{21}, \text{ЭМ}_5^5 \text{РЭМ}_5^{22}, \text{ЭМ}_5^5 \text{РЭМ}_5^{23}, \text{ЭМ}_5^5 \text{РЭМ}_5^{24}, \text{ЭМ}_5^5 \text{РЭМ}_5^{25}, \\ &\text{ЭМ}_5^6 \text{РЭМ}_5^{26}, \text{ЭМ}_5^6 \text{РЭМ}_5^{27}, \text{ЭМ}_5^6 \text{РЭМ}_5^{28} \end{aligned} \right\}.
 \end{aligned}$$

Таблица 6

Таблица семантического содержания модели IEEE

Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	
ЭМ_5^1	Качество ПО	ЭМ_5^{10}	3.1 Полнота	ЭМ_5^{20}	5.1 Независимость АО	
ЭМ_5^2	1 Эффективность	ЭМ_5^{11}	3.2 Точность	ЭМ_5^{21}	5.2 Независимость ПО	
ЭМ_5^3	1.1 Временная эффект.			ЭМ_5^{22}	5.3 Устанавливаемость	
ЭМ_5^4	1.2 Эффективность использования ресурсов	ЭМ_5^{14}	3.4 Совместимость	ЭМ_5^{23}	5.4 Возможность повторного использования	
ЭМ_5^5	2 Надежность					3.5 Взаимодействие
ЭМ_5^6	2.1 Отсутствие дефицита					4 Обеспеченность
ЭМ_5^7	2.2 Устойчивость к ошибкам	ЭМ_5^{15}	4.1 Тестируемость	ЭМ_5^{24}	6 Удобство использования	
		ЭМ_5^{16}	4.2 Расширяемость	ЭМ_5^{25}	6.1 Понятность	
ЭМ_5^8	2.3 Готовность	ЭМ_5^{17}	4.3 Возм. внесения поправок	ЭМ_5^{26}	6.2 Легкость в изучении	
		ЭМ_5^{18}	4.3 Возм. внесения поправок	ЭМ_5^{27}	6.3 Удобство использования	
ЭМ_5^9	3 Функциональность	ЭМ_5^{19}	5 Портативность	ЭМ_5^{28}	6.4 Коммуникативность	

2.7. Модель качества Дромера

Опишем модель Дромера. Для этого определим

множество МЭМ, множество МОЭМ, а также таблицу семантического содержания (табл. 7):

$$\begin{aligned}
 MЭМ_6 &= \left\{ ЭМ_6^1, ЭМ_6^2, ЭМ_6^3, ЭМ_6^4, ЭМ_6^5, ЭМ_6^6, ЭМ_6^7, ЭМ_6^8, ЭМ_6^9, ЭМ_6^{10}, ЭМ_6^{11}, ЭМ_6^{12}, ЭМ_6^{13}, \right. \\
 &\quad \left. ЭМ_6^{14}, ЭМ_6^{15}, ЭМ_6^{16}, ЭМ_6^{17}, ЭМ_6^{18} \right\}; \\
 MOЭМ_6 &= \left\{ \begin{aligned} &ЭМ_6^1 RЭМ_6^2, ЭМ_6^1 RЭМ_6^3, ЭМ_6^1 RЭМ_6^4, ЭМ_6^1 RЭМ_6^{14}, ЭМ_6^1 RЭМ_6^3, \\ &ЭМ_6^2 RЭМ_6^3, ЭМ_6^2 RЭМ_6^4, ЭМ_6^2 RЭМ_6^5, ЭМ_6^2 RЭМ_6^7, ЭМ_6^2 RЭМ_6^8, \\ &ЭМ_6^3 RЭМ_6^{10}, ЭМ_6^3 RЭМ_6^{11}, ЭМ_6^3 RЭМ_6^{12}, ЭМ_6^3 RЭМ_6^{13}, ЭМ_6^{14} RЭМ_6^{15}, \\ &ЭМ_6^{14} RЭМ_6^{16}, ЭМ_6^{14} RЭМ_6^{17}, ЭМ_6^{14} RЭМ_6^{18} \end{aligned} \right\}.
 \end{aligned}$$

Таблица 7

Таблица семантического содержания модели Дромера

Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели
ЭМ ₆ ¹	Качество ПО	ЭМ ₆ ⁷	2.2 Эффективность	ЭМ ₆ ¹³	3.4 Надежность
ЭМ ₆ ²	1 Корректность	ЭМ ₆ ⁸	2.3 Надежность	ЭМ ₆ ¹⁴	4 Описательная
ЭМ ₆ ³	1.1 Функциональность	ЭМ ₆ ⁹	3 Контекстная	6	4.1 Ремонтпригодность
ЭМ ₆ ⁴	1.2 Надежность	ЭМ ₆ ¹⁰	3.1 Ремонтпригодность	ЭМ ₆ ¹⁷	4.3 Портативность
ЭМ ₆ ⁵	2 Внутренняя	ЭМ ₆ ¹¹	3.2 Возможность многократного использования	ЭМ ₆ ¹⁶	4.2 Возможность многократного использования
ЭМ ₆ ⁶	2.1 Ремонтпригодность	ЭМ ₆ ¹²	3.3 Портативность	ЭМ ₆ ¹⁸	4.4 Надежность

2.8. Модель качества ISO 9126-1

Опишем модель ISO 9126-1. Для этого опреде-

лим множество МЭМ, множество МОЭМ, а также таблицу семантического содержания (табл. 8):

$$\begin{aligned}
 MЭМ_7 &= \left\{ ЭМ_7^1, ЭМ_7^2, ЭМ_7^3, ЭМ_7^4, ЭМ_7^5, ЭМ_7^6, ЭМ_7^7, ЭМ_7^8, ЭМ_7^9, ЭМ_7^{10}, ЭМ_7^{11}, ЭМ_7^{12}, ЭМ_7^{13}, \right. \\
 &\quad \left. ЭМ_7^{14}, ЭМ_7^{15}, ЭМ_7^{16}, ЭМ_7^{17}, ЭМ_7^{18}, ЭМ_7^{19}, ЭМ_7^{20}, ЭМ_7^{21}, ЭМ_7^{22}, ЭМ_7^{23}, ЭМ_7^{24}, ЭМ_7^{25}, \right. \\
 &\quad \left. ЭМ_7^{26}, ЭМ_7^{27}, ЭМ_7^{28} \right\}; \\
 MOЭМ_7 &= \left\{ \begin{aligned} &ЭМ_7^1 RЭМ_7^2, ЭМ_7^1 RЭМ_7^3, ЭМ_7^1 RЭМ_7^{11}, ЭМ_7^1 RЭМ_7^{16}, ЭМ_7^1 RЭМ_7^{19}, \\ &ЭМ_7^2 RЭМ_7^4, ЭМ_7^2 RЭМ_7^5, ЭМ_7^2 RЭМ_7^6, ЭМ_7^2 RЭМ_7^8, ЭМ_7^2 RЭМ_7^9, \\ &ЭМ_7^3 RЭМ_7^2, ЭМ_7^3 RЭМ_7^3, ЭМ_7^3 RЭМ_7^{10}, ЭМ_7^{11} RЭМ_7^{12}, ЭМ_7^{11} RЭМ_7^{13}, \\ &ЭМ_7^{11} RЭМ_7^{14}, ЭМ_7^{11} RЭМ_7^{15}, ЭМ_7^{15} RЭМ_7^{17}, ЭМ_7^{16} RЭМ_7^{18}, ЭМ_7^{17} RЭМ_7^{20}, \\ &ЭМ_7^{19} RЭМ_7^{21}, ЭМ_7^{19} RЭМ_7^{22}, ЭМ_7^{19} RЭМ_7^{23}, ЭМ_7^{24} RЭМ_7^{25}, ЭМ_7^{24} RЭМ_7^{26}, \\ &ЭМ_7^{24} RЭМ_7^{27}, ЭМ_7^{24} RЭМ_7^{28} \end{aligned} \right\}.
 \end{aligned}$$

Таблица 8

Таблица семантического содержания модели ISO 9126-1

Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели
ЭМ ₇ ¹	Внешнее и внутреннее качество	ЭМ ₇ ¹¹	3 Удобство в использовании	ЭМ ₇ ²¹	5.2 Изменчивость
ЭМ ₇ ²	1 Функциональность	ЭМ ₇ ¹²	3.1 Понятность	ЭМ ₇ ²²	5.3 Стабильность
ЭМ ₇ ³	1.1 Пригодность	ЭМ ₇ ¹³	3.2 Обучаемость	ЭМ ₇ ²³	5.4 Тестируемость
ЭМ ₇ ⁴	1.2 Точность	ЭМ ₇ ¹⁴	3.3 Работоспособность	ЭМ ₇ ²⁴	6 Портативность
ЭМ ₇ ⁵	1.3 Взаимодействие	ЭМ ₇ ¹⁵	3.4 Привлекательность	ЭМ ₇ ²⁵	6.1 Адаптируемость
ЭМ ₇ ⁶	1.4 Безопасность	ЭМ ₇ ¹⁶	4 Эффективность	ЭМ ₇ ²⁶	6.2 Устанавливаемость
ЭМ ₇ ⁷	2 Надежность	ЭМ ₇ ¹⁷	4.1 Поведение во времени	ЭМ ₇ ²⁷	6.3 Сосуществование
ЭМ ₇ ⁸	2.1 Зрелость	ЭМ ₇ ¹⁸	4.2 Использование ресурсов	ЭМ ₇ ²⁸	6.4 Заменяемость
ЭМ ₇ ⁹	2.2 Отказоустойчивость	ЭМ ₇ ¹⁹	5 Ремонпригодность		
ЭМ ₇ ¹⁰	2.3 Восстанавливаемость	ЭМ ₇ ²⁰	5.1 Анализируемость		

2.9. Модель качества QMOOD

Опишем модель QMOOD. Для этого определим множества МЭМ и МОЭМ, а также таблицу семантического содержания (табл. 9):

$$\begin{aligned}
 MЭМ_8 &= \{ЭМ_8^1, ЭМ_8^2, ЭМ_8^3, ЭМ_8^4, ЭМ_8^5, ЭМ_8^6, ЭМ_8^7\}; \\
 MOЭМ_8 &= \left\{ \begin{aligned} &ЭМ_8^1 RЭМ_8^2, ЭМ_8^1 RЭМ_8^3, ЭМ_8^1 RЭМ_8^4, ЭМ_8^1 RЭМ_8^5, ЭМ_8^1 RЭМ_8^6, \\ &ЭМ_8^2 RЭМ_8^7 \end{aligned} \right\}.
 \end{aligned}$$

Таблица 9

Таблица семантического содержания модели QMOOD

Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели
ЭМ ₈ ¹	Качество ПО	ЭМ ₈ ³	2 Гибкость	ЭМ ₈ ⁶	5 Расширяемость
ЭМ ₈ ²	1 Возможность повторного использования	ЭМ ₈ ⁴	3 Понятность	ЭМ ₈ ⁷	6 Эффективность
		ЭМ ₈ ⁵	4 Функциональность		

2.10. Модель качества ISO 25010

Опишем модель ISO 25010. Для этого опреде-

лим множества МЭМ и МОЭМ, а также таблицу семантического содержания (табл. 10):

$$\begin{aligned}
 \text{МЭМ}_9 &= \left\{ \begin{array}{l} \text{ЭМ}_9^1, \text{ЭМ}_9^2, \text{ЭМ}_9^3, \text{ЭМ}_9^4, \text{ЭМ}_9^5, \text{ЭМ}_9^6, \text{ЭМ}_9^7, \text{ЭМ}_9^8, \text{ЭМ}_9^9, \text{ЭМ}_9^{10}, \text{ЭМ}_9^{11}, \text{ЭМ}_9^{12}, \text{ЭМ}_9^{13}, \\ \text{ЭМ}_9^{14}, \text{ЭМ}_9^{15}, \text{ЭМ}_9^{16}, \text{ЭМ}_9^{17}, \text{ЭМ}_9^{18}, \text{ЭМ}_9^{19}, \text{ЭМ}_9^{20}, \text{ЭМ}_9^{21}, \text{ЭМ}_9^{22}, \text{ЭМ}_9^{23}, \text{ЭМ}_9^{24}, \text{ЭМ}_9^{25}, \\ \text{ЭМ}_9^{26}, \text{ЭМ}_9^{27}, \text{ЭМ}_9^{28}, \text{ЭМ}_9^{29}, \text{ЭМ}_9^{30}, \text{ЭМ}_9^{31}, \text{ЭМ}_9^{32}, \text{ЭМ}_9^{33}, \text{ЭМ}_9^{34}, \text{ЭМ}_9^{35}, \text{ЭМ}_9^{36}, \text{ЭМ}_9^{37}, \\ \text{ЭМ}_9^{38}, \text{ЭМ}_9^{39}, \text{ЭМ}_9^{40} \end{array} \right\} \\
 \text{МОЭМ}_9 &= \left\{ \begin{array}{l} \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^1, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^2, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^3, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^4, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^5, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^6, \\ \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^7, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^8, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^9, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{10}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{11}, \\ \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{12}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{13}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{14}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{15}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{16}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{17}, \\ \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{18}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{19}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{20}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{21}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{22}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{23}, \\ \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{24}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{25}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{26}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{27}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{28}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{29}, \\ \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{30}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{31}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{32}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{33}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{34}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{35}, \\ \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{36}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{37}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{38}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{39}, \text{ЭМ}_9^1 \text{РЭМ}_9^{40} \end{array} \right\}
 \end{aligned}$$

Таблица 10

Таблица семантического содержания модели МакКола

Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели	Элемент мн-ва МЭМ	Элемент модели
ЭМ ¹	Качество ПО/Системы	ЭМ ¹⁸	4.2 Обучаемость	ЭМ ²⁸	6.3 Неотказуемость
ЭМ ²	1 Функцион. пригодность	ЭМ ¹⁸	4.3 Работоспособность	ЭМ ²⁹	6.4 Подотчетность
ЭМ ³	1.1 Функцион. полнота	ЭМ ¹⁷	4.4 Защита от ош. польз.	ЭМ ³⁰	6.5 Подлинность
ЭМ ⁴	1.2 Функцион. точность	ЭМ ¹⁸	4.5 Эстетика пользовательского интерфейса	ЭМ ³¹	7 Портативность
ЭМ ⁵	1.3 Функцион. соответствие			ЭМ ³²	7.1 Адаптируемость
ЭМ ⁶	2 Эффективность работы	ЭМ ¹⁹	4.6 Доступность	ЭМ ³³	7.2 Устанавливаемость
ЭМ ⁷	2.1 Поведение во времени	ЭМ ²⁰	5 Надежность	ЭМ ³⁴	7.3 Заменяемость
ЭМ ⁸	2.2 Использ. ресурсов	ЭМ ²¹	5.1 Зрелость	ЭМ ³⁵	8. Ремонтпригодность
ЭМ ⁹	2.3 Мощность	ЭМ ²²	5.2 Готовность	ЭМ ³⁶	8.1 Модифицируемость
ЭМ ¹⁰	3 Совместимость	ЭМ ²³	5.3 Отказоустойчивость	ЭМ ³⁷	8.2 Тестируемость
ЭМ ¹¹	3.1 Сосуществование	ЭМ ²⁴	5.4 Восстанавливаемость	ЭМ ³⁸	8.3 Модульность
ЭМ ¹²	3.2 Взаимодействие	ЭМ ²⁵	6 Безопасность	ЭМ ³⁹	8.4 Возможность многократного использования
ЭМ ¹³	4 Удобство использования	ЭМ ²⁶	6.1 Конфиденциальность		
ЭМ ¹⁴	4.1 Целес.узнаваемости	ЭМ ²⁷	6.2 Целостность	ЭМ ⁴⁰	8.5 Анализируемость

Заметим, что для всего множества моделей качества ПО $\text{МК} = \{\text{МК}_i\}$ может быть сформировано общее множество элементов моделей с использованием простой операции объединения. Однако, для этого требуется дополнительный анализ семантического содержания каждой характеристики и подхарактеристики, который в рамках данной работы не проводится. По этой причине используются дополнительная индексация элементов в пределах моделей.

3. Методика структурно-семантического анализа МКПО

Дадим краткое описание методики анализа. Для этого введем необходимые определения:

- эталонная модель – модель, с которой сопоставляют анализируемую модель;
- анализируемая модель – модель, которую сопоставляют с эталонной моделью;
- исследуемая характеристика – характеристика эталонной модели, которая сравнивается с характеристиками анализируемой модели.

Методика основывается на сравнении анализируемой модели с эталонной, т.е. каждая модель качества ПО сравнивается с эталонной моделью. Ана-

лиз сводится к семантическому сравнению между собой характеристик, подхарактеристик (подподхарактеристик) анализируемой и эталонной моделей с учетом их структуры. Выбор эталонной модели, как правило, осуществляется экспертом, который имеет соответствующий опыт и квалификацию.

3.1. Варианты сравнения моделей качества

Поскольку модели качества ПО могут быть описаны двумя множествами: множеством элементов модели качества ПО – МЭМ и множеством отношений элементов модели – МОЭМ, опишем возможные варианты сравнения эталонной и анализируемой в виде (терминов) операций над данными множествами. Представим множество вариантов сравнения моделей качества ПО.

1. Множества МЭМ и МОЭМ равны

$$\begin{cases} \text{МЭМ}_i = \text{МЭМ}_j \\ \text{МОЭМ}_i = \text{МОЭМ}_j \end{cases}$$

2. Множества МЭМ не равны, а МОЭМ равны. Такого варианты быть не может, поскольку если не равны элементы модели между собой, то не равны и отношения этих элементов:

$$\begin{cases} \text{МЭМ}_i \neq \text{МЭМ}_j \\ \text{МОЭМ}_i = \text{МОЭМ}_j \end{cases}$$

3. Множества МЭМ равны между собой, а МОЭМ не равны.

$$\begin{cases} \text{МЭМ}_i = \text{МЭМ}_j \\ \text{МОЭМ}_i \neq \text{МОЭМ}_j \end{cases}$$

Здесь также возможны следующие случаи:

3.1 Нет совпадений между элементами МОЭМ:

$$\begin{cases} \text{МЭМ}_i = \text{МЭМ}_j \\ \text{МОЭМ}_i \neq \text{МОЭМ}_j \\ \text{МОЭМ}_i \cap \text{МОЭМ}_j = \emptyset \end{cases}$$

3.1 Есть совпадения между элементами МОЭМ:

$$\begin{cases} \text{МЭМ}_i = \text{МЭМ}_j \\ \text{МОЭМ}_i \neq \text{МОЭМ}_j \\ \text{МОЭМ}_i \cap \text{МОЭМ}_j \neq \emptyset \end{cases}$$

4. Множества МЭМ и МОЭМ не равны

$$\begin{cases} \text{МЭМ}_i \neq \text{МЭМ}_j \\ \text{МОЭМ}_i \neq \text{МОЭМ}_j \end{cases}$$

Здесь также возможны следующие случаи:

4.1 Нет совпадений между элементами множеств МЭМ и МОЭМ соответственно:

$$\begin{cases} \text{МЭМ}_i \neq \text{МЭМ}_j \\ \text{МОЭМ}_i \neq \text{МОЭМ}_j \\ \text{МЭМ}_i \cap \text{МОЭМ}_j = \emptyset \\ \text{МОЭМ}_i \cap \text{МОЭМ}_j = \emptyset \end{cases}$$

4.2 Есть совпадения между элементами МЭМ, а между элементами МОЭМ совпадений нет:

$$\begin{cases} \text{МЭМ}_i \neq \text{МЭМ}_j \\ \text{МОЭМ}_i \neq \text{МОЭМ}_j \\ \text{МЭМ}_i \cap \text{МОЭМ}_j \neq \emptyset \\ \text{МОЭМ}_i \cap \text{МОЭМ}_j = \emptyset \end{cases}$$

4.3 Нет совпадений между элементами МЭМ, а между элементами МОЭМ совпадения есть:

$$\begin{cases} \text{МЭМ}_i \neq \text{МЭМ}_j \\ \text{МОЭМ}_i \neq \text{МОЭМ}_j \\ \text{МЭМ}_i \cap \text{МОЭМ}_j = \emptyset \\ \text{МОЭМ}_i \cap \text{МОЭМ}_j \neq \emptyset \end{cases}$$

4.4 Есть совпадения между элементами множеств МЭМ и МОЭМ соответственно:

$$\begin{cases} \text{МЭМ}_i \neq \text{МЭМ}_j \\ \text{МОЭМ}_i \neq \text{МОЭМ}_j \\ \text{МЭМ}_i \cap \text{МОЭМ}_j \neq \emptyset \\ \text{МОЭМ}_i \cap \text{МОЭМ}_j \neq \emptyset \end{cases}$$

3.2. Показатели (метрики)

Для количественной оценки результатов сравнения эталонной и анализируемой моделей качества введем ряд показателей, взаимосвязь и подчиненность, которых представлена на рис. 10.

Дадим краткую характеристику показателям:

– *показатель совпадения подхарактеристик (ПСПХ_j)*. Значение для каждого совпадения подхарактеристик рассчитывается по следующей формуле ПСПХ_j = 0,5 / количество подхарактеристик эталонной модели анализируемой характеристики;

– *обобщенный показатель сравнения подхарактеристик*. Рассчитывается как сумма ПСПХ:

$$\text{ОПСПХ}_i = \sum_{j=1}^k \text{ПСПХ}_j$$

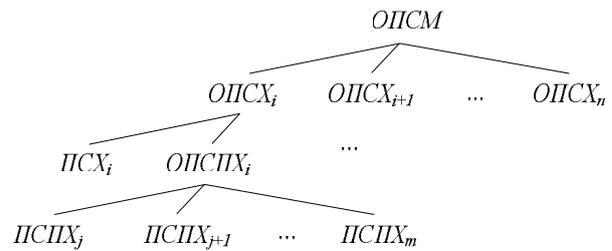


Рис. 10. Взаимосвязь и подчиненность количественных показателей

– *показатель совпадения характеристик (ПСХ_i)* – принимает значение 0,5 в случае совпадения или 0 в случае несовпадения характеристик;

– *обобщенный показатель совпадения характеристик (ОПСХ)*. Рассчитывается как сумма показателя ПСХ и $\sum_{j=1}^k \text{ОПСПХ}_j$:

$$\text{ОПСХ}_i = \text{ПСХ}_i + \sum_{j=1}^k \text{ОПСПХ}_j;$$

– *обобщенный показатель сравнения моделей (ОПСМ)*. Данный показатель рассчитывается как

$$\text{ОПСМ} = \sum_{i=1}^n \text{ОПСХ}_i.$$

3.3. Последовательность анализа

Представим алгоритм сравнения эталонной и анализируемой модели качества ПО (рис. 11) и дадим его краткое описание по этапам:

Этап 1. На данном этапе инициализируются показатели ПСХ, ПСПХ, ОПСМ, ОПСХ, ОПСПХ.

Этап 2. Здесь осуществляется сравнение исследуемых характеристик эталонной модели с соответствующими характеристикам анализируемой модели, а именно функциональной пригодностью, эффективностью работы, совместимостью, удобством использования, надежностью, безопасностью, портативностью, ремонтпригодностью (обслуживаемостью). Если в результате семантического сравнения будет установлено соответствие между характеристиками, тогда показателю ПСХ_i будет присвоено значение 0,5. Далее формируется множество подхарактеристик анализируемой модели в рамках исследуемой характеристики и рассчитано значение показателя ПСПХ_j для совпадения подхарактеристик.

Этап 3. На данном этапе осуществляется сравнение подхарактеристик анализируемой и эталонной моделей в рамках исследуемой характеристики эталонной модели. Если будет установлено соответствие подхарактеристик анализируемой и эталонной модели, то показателю ПСПХ_j будет присвоено соответствующее значение. Также в рамках этапа рассчитываются показатели ОПСПХ_i и ОПСХ_i

Этап 4. Если не найдены совпадения на уровне характеристик, осуществляется семантическое сравнение между характеристикой эталонной модели и подхарактеристиками анализируемой модели. Если совпадение найдено, то показатель ПСХ_i = 0,5, в противном случае ПСХ_i = 0.

Етап 5. На данном этапе осуществляется семантическое сравнение подхарактеристик эталонной модели и характеристик анализируемой. Если найдено соответствие между подхарактеристикой эталонной модели и характеристикой анализируемой, показателю

ПСРХ_i будет присвоено соответствующее значение. Далее рассчитываются показатели ОПСПХ_i, ОПСХ_i и ОПСМ. После сравнения подхарактеристик эталонной модели с характеристиками анализируемой модели и расчета показателей алгоритм завершается.

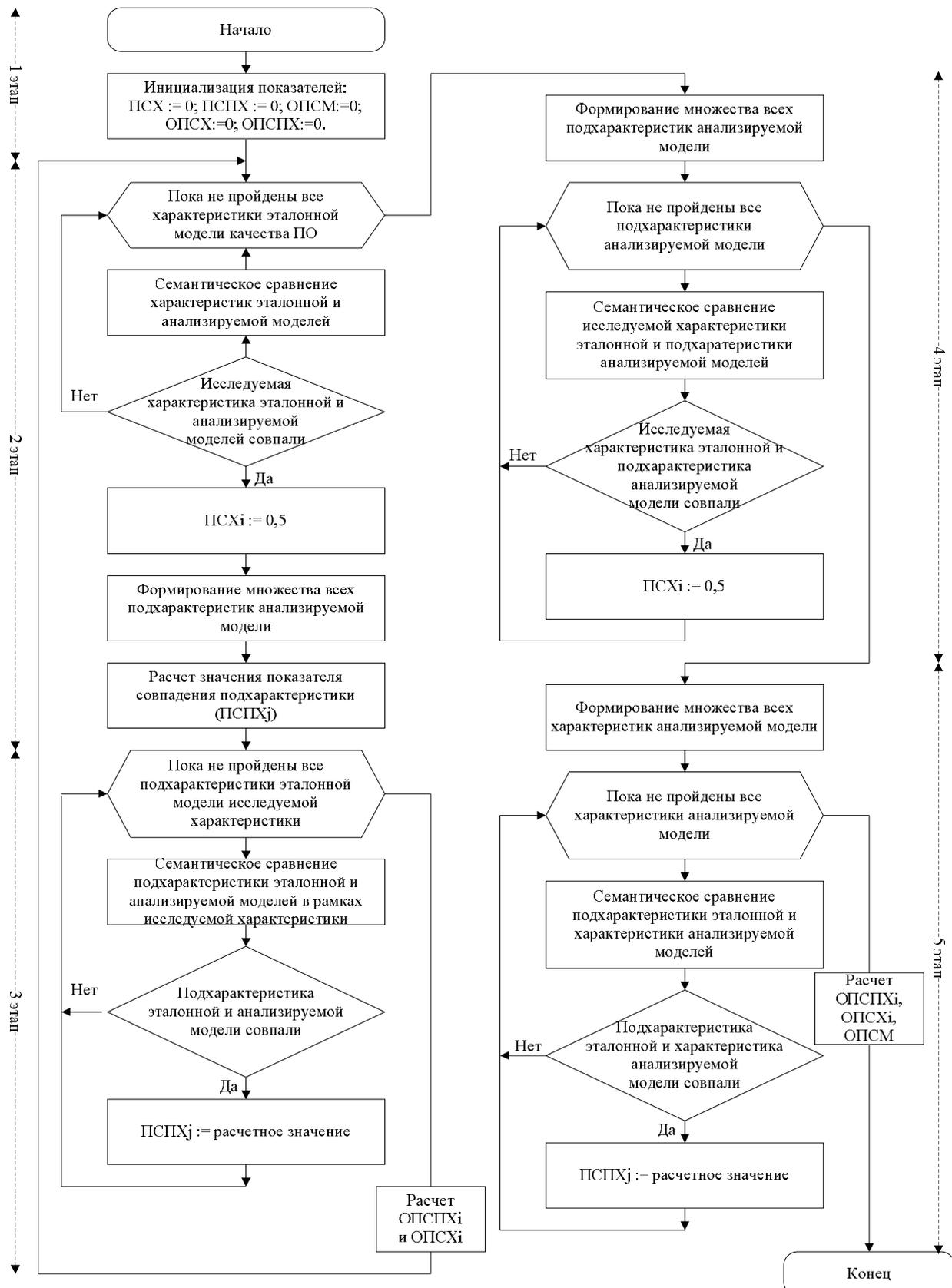


Рис. 11. Алгоритм сравнения эталонной и анализируемой моделей качества

4. Результаты анализа моделей качества ПО

Проведем анализ МКПО. Прежде всего, определим эталонную модель. Будем считать, что модель качества ПО ISO 25010 является «идеальной» (эталонной) относительно всех рассмотренных моделей, поскольку, во-первых, она является последней предложенной моделью и должна учитывать все особенности обеспечения и оценивания качества современного ПО, во-вторых, данная модель описана в международном специализированном стандарте. В связи с этим, множество характеристик эталонной модели, с которыми будут сравниваться характеристики (подхарактеристики) анализируе-

мых моделей, будут следующими: функциональная пригодность, эффективность работы, совместимость, удобство использования, надежность, безопасность, портативность, ремонтпригодность.

Результаты семантического сравнения характеристик, подхарактеристик различного уровня моделей качества ПО отражены в табл. 11, а их графическая иллюстрация – на рис. 12. Отметим, что для соблюдения всех пропорций во всех графиках данной работы нормируются значения (года появления МКПО) по оси абсцисс и будем считать нулевой точкой 1970 год. Для компактного представления информации вместо названий характеристик, подхарактеристик в табл. 11 представлены их номера соответствующие номерам, указанным на рис. 1 – 9 для каждой МКПО.

Таблица 11

Результаты анализа моделей качества ПО

Этал. модель (ISO 25010)		Модель МакКола				Модель Бозма				Модель Гречи			
Х-ки	Подх-ки	Х-ки	Подх-ки	ПСХ	ПСПХ	Х-ки	Подх-ки	ПСХ	ПСПХ	Х-ки	Подх-ки	ПСХ	ПСПХ
1		-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	1.1	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	1.2	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	1.3	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
				ОПСХ=0		ОПСХ=0				ОПСХ=0			
2		4.	-	0,5	0	2.2	-	0,5	0	-	-	0	0
	2.1	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	2.2	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	2.3	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
				ОПСХ=0,5		ОПСХ=0,5				ОПСХ=0			
3		-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	3.1	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	3.2	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
				ОПСХ=0		ОПСХ=0				ОПСХ=0			
4		6.	-	0,5	0	-	-	0	0	7	-	0,5	0
	4.1	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	4.2	-	6.2	0	0,083	-	-	0	0	-	-	0	0
	4.3	-	6.1	0	0,083	-	-	0	0	-	-	0	0
	4.4	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	4.5	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	4.6	-	-	0	0	-	2.2.2, 2.3.1, 3.1.4	0	0,083	-	-	0	0
				ОПСХ=0,666		ОПСХ=0,083				ОПСХ=0,5			
5		2.	-	0,5	0	-	2.1	0	0,5	3	-	0,5	0
	5.1	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	5.2	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	5.3	-	2.2	0	0,125	-	-	0	0	-	-	0	0
	5.4	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
				ОПСХ=0,625		ОПСХ=0,5				ОПСХ=0,5			
6		-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	6.1	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	6.2	-	-	0	0	-	2.1.2	0	0,1	1	-	0,1	0
	6.3	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	6.4	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	6.5	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
				ОПСХ=0		ОПСХ=0,1				ОПСХ=0,1			
7		10.	-	0,5	0	1	-	0,5	0	5	-	0,5	0
	7.1	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	7.2	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	7.3	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
				ОПСХ=0,5		ОПСХ=0,5				ОПСХ=0,5			

8		7.	-	0,5	0	3	-	0,5	0	2	-	0,5	0
	8.1	-	-	0	0	-	3.3	0	0,1	-	-	0	0
	8.2	-	-	0	0	-	3.1	0	0,1	-	-	0	0
	8.3	-	7.4	0	0,1	-	-	0	0	-	-	0	0
	8.4	-	-	0	0	-	-	0	0	6	-	0,1	0
	8.5	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
				ОПСХ=0,6			ОПСХ=0,7				ОПСХ=0,6		
				ОПСМ=2,9			ОПСМ=2,4				ОПСМ=2,2		

Этал. модель (ISO 25010)		Модель FURPS				Модель IEEE				Модель Дромера			
Х-ки	Подх-ки	Х-ки	Подх-ки	ПСХ	ПСПХ	Х-ки	Подх-ки	ПСХ	ПСПХ	Х-ки	Подх-ки	ПСХ	ПСПХ
1		1	-	0,5	0	3	-	0,5	0	1.1	-	0,5	0
	1.1	-	-	0	0	-	3.1	0	0,167	-	-	0	0
	1.2	-	-	0	0	-	3.2	0	0,167	-	-	0	0
	1.3	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
				ОПСХ=0,5		ОПСХ=0,834				ОПСХ=0,5			
2		-	4.2	0	0,5	1	-	0,5	0	2.2	-	0,5	0
	2.1	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	2.2	-	4.6	0	0,17	-	1.2	0	0,167	-	-	0	0
	2.3	-	1.2	0	0,17	-	-	0	0	-	-	0	0
				ОПСХ=0,84		ОПСХ=0,667				ОПСХ=0,5			
3		-	5.5	-	0,5	-	3.4	0	0,5	-	-	0	0
	3.1	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-	0	0
	3.2	-	-	-	-	-	3.5	0	0,25	-	-	0	0
				ОПСХ=0,5		ОПСХ=0,75				ОПСХ=0			
4		-	-	0	0	6	-	0,5	0	-	-	0	0
	4.1	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	4.2	-	-	0	0	-	6.2	0	0,083	-	-	0	0
	4.3	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	4.4	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	4.5	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	4.6	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
				ОПСХ=0		ОПСХ=0,583				ОПСХ=0			
5		3.	-	0,5	0	2		0,5	0		1.2,2.3, 3.4,4.4	0	0,5
	5.1	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	5.2	-	4.3	0	0,125	-	2.3	0	0,125	-	-	0	0
	5.3	-	-	0	0	-	2.2	0	0,125	-	-	0	0
	5.4	-	3.2	0	0,125	-	-	0	0	-	-	0	0
				ОПСХ=0,75		ОПСХ=0,75				ОПСХ=0,5			
6		-	1,3	0	0,5	-	3.3	0,5	0	-	-	0	0
	6.1	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	6.2	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	6.3	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	6.4	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	6.5	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
				ОПСХ=0,5		ОПСХ=0,5				ОПСХ=0			
7		-	-	0	0	5	-	0,5	0	-	3.3, 4.3	0	0,5
	7.1	-	5.3	0	0,167	-	-	0	0	-	-	0	0
	7.2	-	5.8	0	0,167	-	5.3	0	0,167	-	-	0	0
	7.3	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
				ОПСХ=0,334		ОПСХ=0,667				ОПСХ=0,5			
8		-	5.4	0	0,5	-	-	0	0	-	3.1, 4.1	0	0,5
	8.1	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	8.2	-	5.1	0	0,1	-	-	0	0	-	-	0	0
	8.3	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
	8.4	-	-	0	0	-	5.4	0	0,1	-	3.2, 4.2	0	0,1
	8.5	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
				ОПСХ=0,6		ОПСХ=0,1				ОПСХ=0,6			
				ОПСМ=4		ОПСМ=4,9				ОПСМ=2,6			

Этал. модель (ISO 25010)		Модель ISO 9126				Модель QMOOD			
Х-ки	Подх-ки	Х-ки	Подх-ки	ПСХ	ПСПХ	Х-ки	Подх-ки	ПСХ	ПСПХ
1		1	-	0,5	0	4	-	0,5	0
	1.1	-	-	0	0	-	-	0	0
	1.2	-	1.2	0	0,167	-	-	0	0
	1.3	-	-	0	0	-	-	0	0
				ОПСХ=0,667		ОПСХ=0,5			
2		4	-	0,5	0	6	-	0,5	0
	2.1	-	4.1	0	0,167	-	-	0	0
	2.2	-	4.2	0	0,167	-	-	0	0
	2.3	-	-	0	0	-	-	0	0
				ОПСХ=0,834		ОПСХ=0,5			
3		-	-	0	0	-	-	0	0
	3.1	-	6.3	0	0,25	-	-	0	0
	3.2	-	1.3	0	0,25	-	-	0	0
				ОПСХ=0,5		ОПСХ=0			
4		3	-	0,5	0	-	-	0	0
	4.1	-	-	0	0	-	-	0	0
	4.2	-	3.2	0	0,083	-	-	0	0
	4.3	-	3.3	0	0,083	-	-	0	0
	4.4	-	-	0	0	-	-	0	0
	4.5	-	3.4	0	0,083	-	-	0	0
	4.6	-	-	0	0	-	-	0	0
				ОПСХ=0,749		ОПСХ=0			
5		2	-	0,5	0	-	-	0	0
	5.1	-	2.1	0	0,125	-	-	0	0
	5.2	-	-	0	0	-	-	0	0
	5.3	-	2.2	0	0,125	-	-	0	0
	5.4	-	2.3	0	0,125	-	-	0	0
				ОПСХ=0,875		ОПСХ=0			
6		-	1.4	0	0,5	-	-	0	0
	6.1	-	-	0	0	-	-	0	0
	6.2	-	-	0	0	-	-	0	0
	6.3	-	-	0	0	-	-	0	0
	6.4	-	-	0	0	-	-	0	0
	6.5	-	-	0	0	-	-	0	0
				ОПСХ=0,5		ОПСХ=0			
7		6	-	0,5	0	-	-	0	0
	7.1	-	6.1	0	0,166	-	-	0	0
	7.2	-	6.2	0	0,166	-	-	0	0
	7.3	-	6.4	0	0,166	-	-	0	0
				ОПСХ=0,998		ОПСХ=0			
8		5	-	0,5	0	-	-	0	0
	8.1	-	5.2	0	0,1	-	-	0	0
	8.2	-	5.4	0	0,1	-	-	0	0
	8.3	-	-	0	0	-	-	0	0
	8.4	-	-	0	0	1	-	0,1	0
	8.5	-	5.1	0	0,1	-	-	0	0
				ОПСХ=0,8		ОПСХ=0,1			
ОПСМ=5,9					ОПСМ=1,1				

Прокомментируем результаты анализа характеристик (подхарактеристик) моделей качества:

– каждая новая модель качества появлялась примерно раз в десять лет;

– полученные результаты исследований МКПО дают основания предполагать, что МКПО, участвующие в исследовании, по своему качеству не

являются равноправными, и их можно разделить на следующие группы:

○ в первую группу МКПО вошли основополагающие или базовые МКПО. Такие модели являются результатом работы авторских коллективов международных авторитетных организаций, таких, например, как ISO и IEEE. Следовательно, к осново-

полагающим МКПО относится МКПО IEEE, МКПО ISO 9126-1 и МКПО ISO 25010;

о ко второй группе отнесли корпоративные МКПО. Такие модели, как правило, являются именными и по уровню качества (номенклатуры характеристик и их связей) самой модели, как правило, существенно уступают основополагающим. К данной группе моделей отнесем следующие: МКПО

МакКола, МКПО Бозма, МКПО Гези, МКПО FURPS, МКПО Дромера, МКПО QMOOD.

Поученные значения показателя ОПСМ для каждой МКПО (табл. 11) позволили сопоставить модели между собой уже не на уровне отдельных характеристик, а на уровне собственно моделей. Результаты сравнения модели представлены на рис. 13.

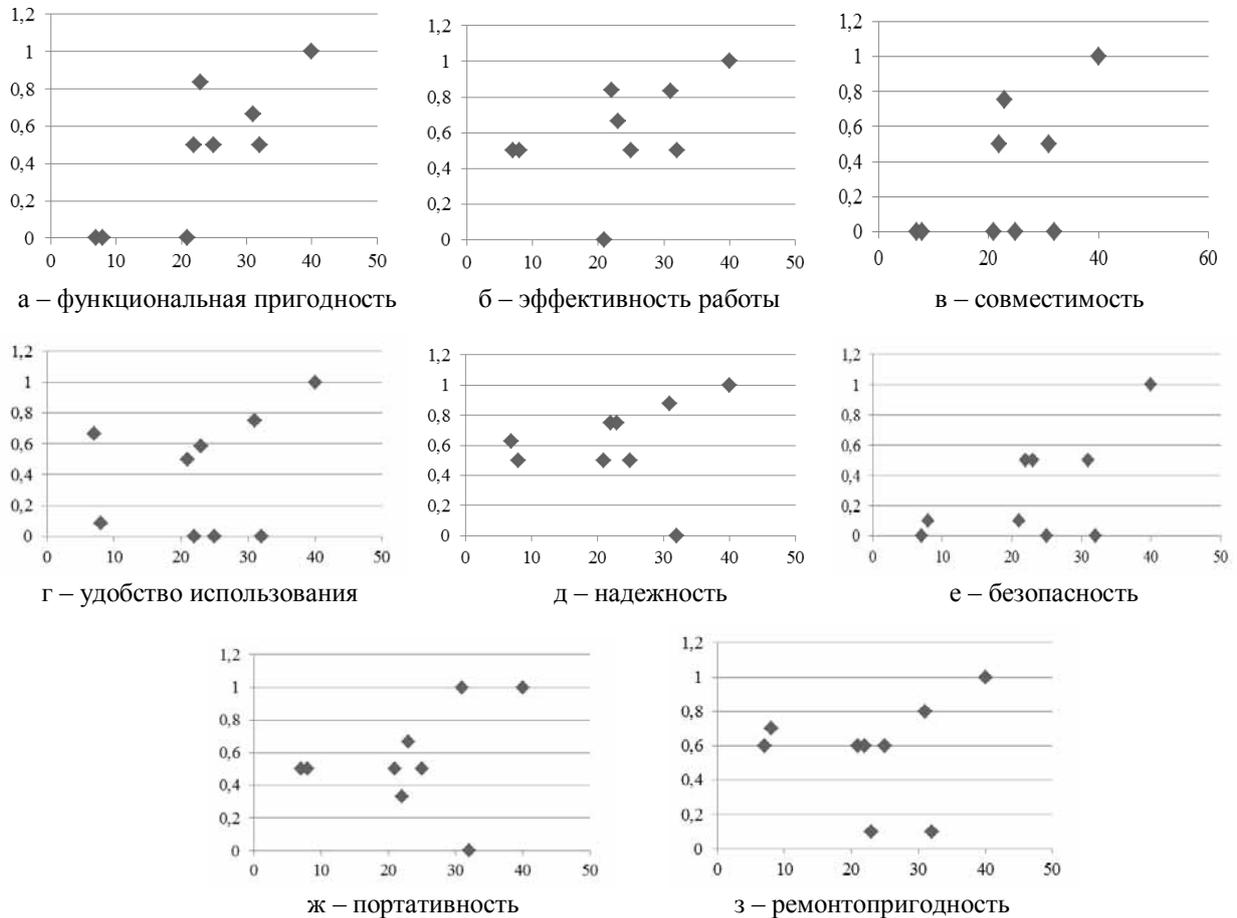


Рис. 12. Изменение значений ОПСХ по характеристикам во времени

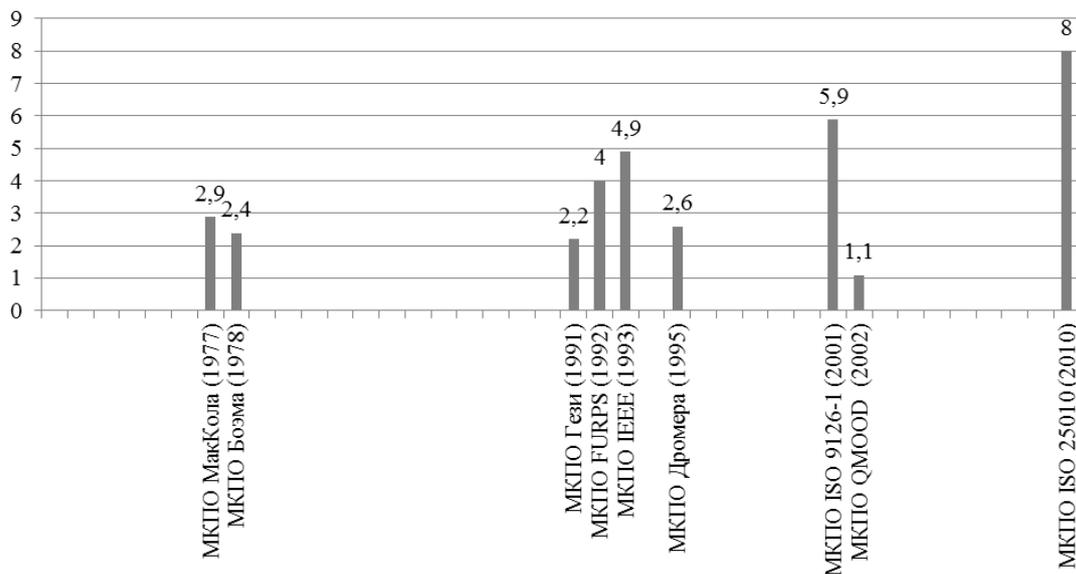


Рис. 13. Результат сравнения МКПО по показателю ОПСМ

Перед началом исследований выдвигалась гипотеза, что значение показателя ОПСМ для каждой МКПО в хронологии появления моделей будет больше предыдущего. Полученные результаты, представленные на рис. 14, говорят о том, что данную гипотезу нарушают (зашумляют) часть корпоративных МКПО, а базовые модели, наоборот, подтверждают ее. По этой причине корпоративные модели, нарушающие выдвинутую гипотезу, исключены. В результате были исключены МКПО Бозма, МКПО Гези, МКПО Дромера, МКПО QMOOD. После исключения моделей был получен график, представленный на рис. 14.

Определим зависимость между годом появления МКПО (ось X) и значением показателя ОПСМ

(ось Y) и представим ее в аналитическом виде линейной регрессионной зависимостью:

$$y=ax+b,$$

где y – функция, x – переменная, а и b – некоторые константы.

Выбор линейной зависимости обусловлен простым визуальным анализом результатов, иллюстрируемых рис. 15.

Используя метод наименьших квадратов, рассчитаем значения параметров a и b:

$$a = \frac{n \sum_{i=0}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}, \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

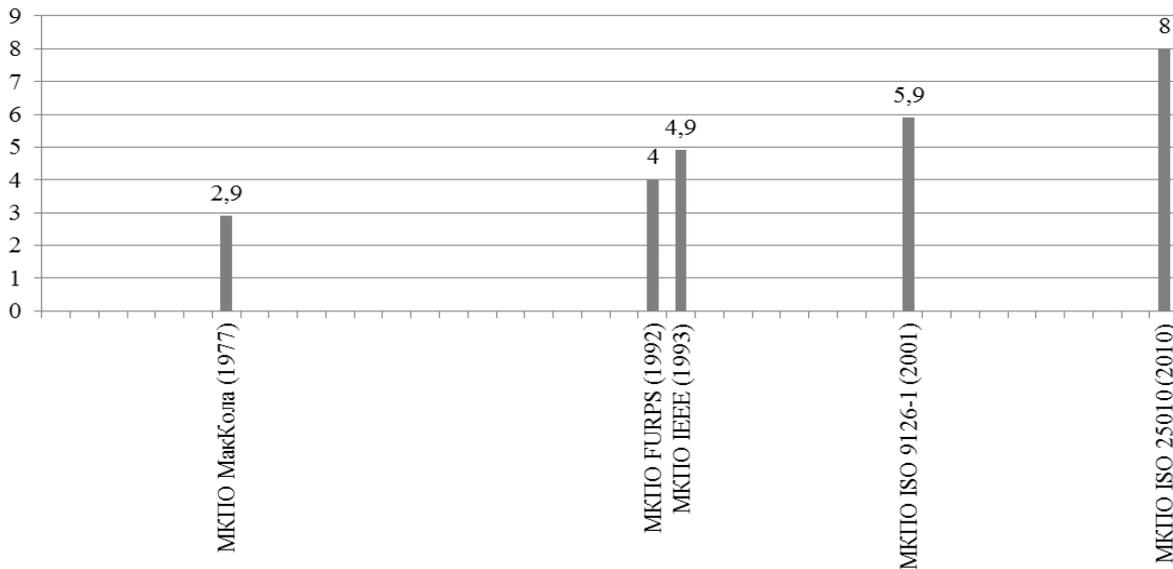


Рис. 14. Результаты сравнения базовых МКПО по показателю ОПСМ

В результате вычислений найдены параметры $a = 0,153$ и $b = 1,363$ и определена линейная аналитическая зависимость:

$$y=0,153x+1,363.$$

Проанализируем изменения, произошедшие в МКПО на уровне характеристик. Для этого сопоставим между собой значения показателя ОПСХ, полу-

ченные для МКПО, представленных на рис. 15 и отобразим их в табличном (табл. 12) а также в графическом виде (рис. 15).

Проанализируем полученные результаты и определим, в какие периоды развития МКПО значения показателя ОПСХ для характеристик возрастало, убывало или оставалось неизменным (табл. 13).

Таблица 12

Значения показателя ОПСХ для базовых моделей качества ПО

Характеристики	МКПО МакКола (1977 г.). ОПСХ	МКПО FURPS (1992 г.). ОПСХ	МКПО IEEE (1993 г.). ОПСХ	МКПО ISO 9126-1 (2001 г.). ОПСХ	МКПО ISO 25010 (2010 г.). ОПСХ
Функциональная пригодность	0	0,5	0,83	0,67	1
Эффективность работы	0,5	0,84	0,67	0,83	1
Совместимость	0	0,5	0,75	0,5	1
Удобство использования	0,666	0	0,58	0,75	1
Надежность	0,625	0,75	0,75	0,88	1
Безопасность	0	0,5	0,5	0,5	1
Портативность	0,5	0,334	0,67	0,99	1
Ремонтопригодность	0,6	0,6	0,1	0,8	1

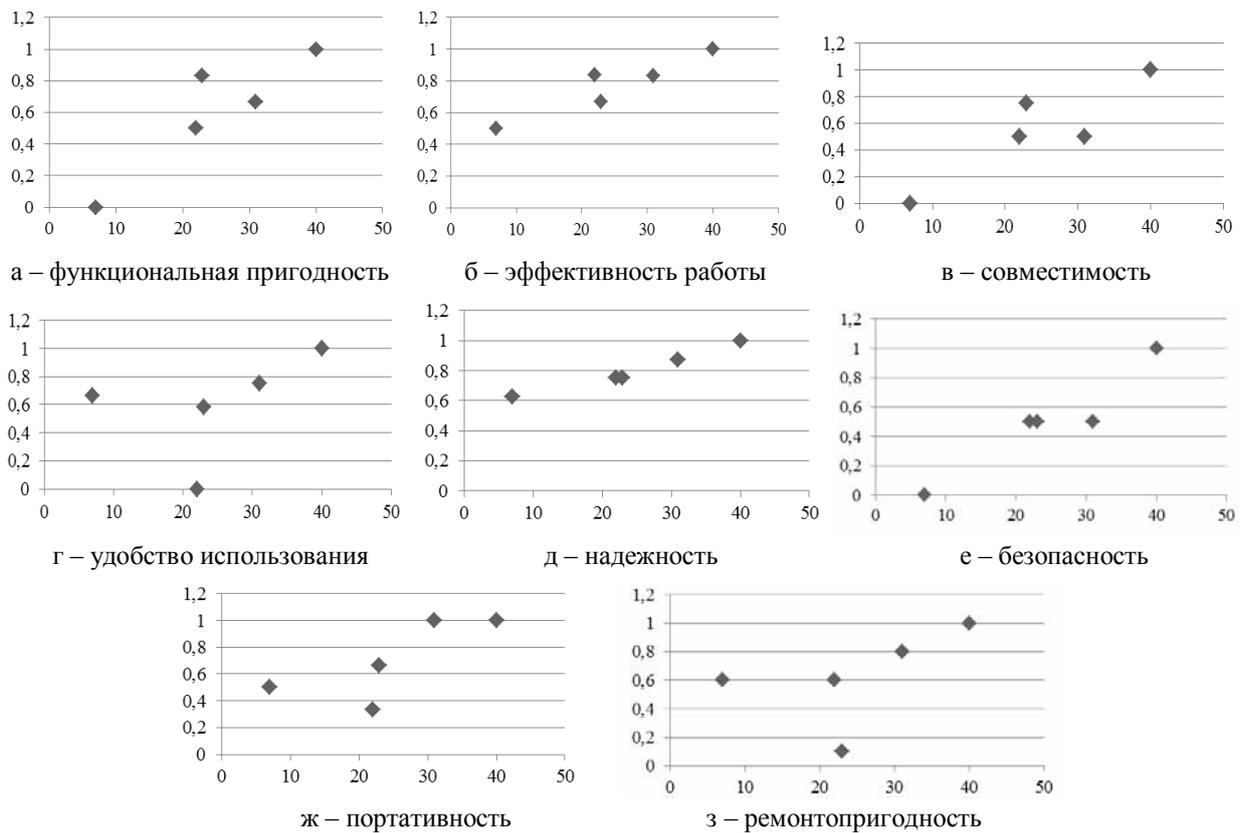


Рис. 15. Графічне представлення значень показателя ОПСХ для основополагающих МКПО

Таблица 13

Поведение характеристик МКПО в разные периоды

№	Период	Поведение характеристики	Функциональная пригодность	Эффективность работы	Совместимость	Удобство использования	Надежность	Безопасность	Портативность	Ремонт-пригодность
1	1977-1992	Возрастает	+	+	+		+	+		
		Неизменна								+
		Убывает				+			+	
2	1992-1993	Возрастает	+		+	+			+	
		Неизменна					+	+		
		Убывает		+						+
3	1993-2001	Возрастает		+		+	+		+	+
		Неизменна						+		
		Убывает	+		+					
4	2001-2010	Возрастает	+	+	+	+	+	+		+
		Неизменна							+	
		Убывает								

5. Выводы

5.1. Основные результаты

В результате проведенной работы предложена методика структурно-семантического анализа МКПО, которая базируется на их теоретико-множественном описании и специальных метриках.

Эта методика дала возможность получить значения показателей, необходимые для количественного сравнения МКПО. Их анализ позволил определить изменения, которые претерпели МКПО в процессе эволюции.

С учетом показателей полноты и общности выделены две группы МКПО: базовые и корпоративные модели.

Полученная аналитическая зависимость между значениями ОПСМ и годом появления МКПО позволили описать некоторую закономерность линейного роста сложности моделей качества программного обеспечения и сделать предположения о номенклатуре и структуре характеристик последующих МКПО.

5.2. Как могут развиваться модели качества ПО

По мнению авторов, в части дальнейшего развития МКПО можно сделать следующие выводы:

– показатель ОПСМ для каждой последующей модели качества ПО должен быть больше предыдущей, т.е. номенклатура характеристик должна расширяться;

– количество уровней для последующих МКПО должно быть не менее двух;

– структура характеристик МКПО будет усложняться за счет большей их детализации на уровне подхарактеристик, причем для отдельных характеристик, таких как надежность, безопасность, удобство использования, их сложность может существенно возрасти.

5.3. Направления дальнейших исследований

В дальнейшей работе планируется:

– провести более детальный семантический анализ всех характеристик (подхарактеристик) с точки зрения их однозначного и однотипного толкования; при этом следует учесть различные варианты дублирования характеристик и подхарактеристик в рамках одной МКПО (на рис. 1 – 9 они обозначены одинаковой штриховкой или фоном, отличным от основного);

– исследовать эволюцию метрик для измерения характеристик качества ПО, а также методик его оценивания; кроме того, предложенная методика может быть основой для оценки целесообразности и направленности разработки новых корпоративных МКПО;

– используя предложенную методику анализа МКПО, провести анализ эволюции специализированных моделей качества отдельно для таких характеристик как надежность, безопасность, удобство использования и др.

Список литературы

1. *Software engineering. Report on a conference sponsored by the NATO SCIENCE COMMITTEE. Garmisch, Germany, 7th to 11th October 1968 [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://homepages.cs.ncl.ac.uk/brian.randell/NATO/nato1968.PDF>.*
2. *International standard ISO/IEC FDIS 25010. System and software quality models. – 2 010. – 34 p.*
3. *Sanjay Kumar Dubey. Comparison of Software Quality Models: An Analytical Approach / Sanjay Kumar Dubey, Soumi Ghosh, Ajay Rana // Int. Journal of Emerging Technology and Adv. Engineering. – 2012. – Vol. 2, Is. 2. – P. 111-119.*
4. *McCall J.A. Factors in Software Quality / J.A. McCall, P.K. Richards, G.F. Walters // Nat'l Tech. Information Service. – 1977. – Vol. 1, 2, 3.*
5. *Boehm B.W. Characteristics of Software Quality / B.W. Boehm, J.R. Brown, H. Kaspar, M. Lipow, G. McLeod, M. Merritt // North Holland. – 1978.*
6. *Carlo Ghezzi. Fundamental of software Engineering / Carlo Ghezzi, Mehdi Jazayeri, Dino Mandrioli // Prentice Hall. – 1991.*
7. *Grady R.B. Practical software metrics for project management and process improvement / Grady R.B. // Prentice Hall. – 1992.*
8. *International standard IEEE 1219-1993. Standard for Software Maintenance, Software Engineering Standards Subcommittee of the IEEE Computer Society. – 1993. – 45 p.*

9. *Dromey G.R. A model for software product quality / G.R. Dromey // IEEE Trans. on software Eng. – 1995. – Vol.21, no. 2. – P. 146-162.*

10. *Hyatt L.E. Product Assurance Symposium and Software Product Assurance Workshop / L.E. Hyatt, L.H. Rosenberg // Proceedings of meetings, European Space Agency. – 1996. – P. 209.*

11. *Bansiya J. A Hierarchical Model for Object-Oriented Quality Assessment / J. Bansiya, C. Davis // IEEE Transactions on Software Engineering. – 2002. – Vol. 28, Issue 1. – P. 4-17.*

12. *Anas Bassam Al-Badareen. Software Quality Models: A Comparative Study / Anas Bassam ALL-Badareen, Mohd Hasan Selamat, Marzanah A. Jabar, Jamilah Din, Sherzod Turaev // J.M. Zain et al. (Eds.): ICSECS 2011. – Part I. – P. 46-55.*

13. *Deepshikha Jamwal. Analysis of Software Quality Models for Organizations / Deepshikha Jamwal // International Journal of Latest Trends in Computing. – 2010. – Volume 1, Issue 2. – P. 46-55.*

14. *Jonathan Tate. Software Process Quality Models: A comparative evaluation. M.Sc. Thesis / Jonathan Tate // University of Durham. – 2003. – 175 p.*

15. *Filip Radulovic. A software quality model for the evaluation of semantic technologies. Master thesis / Filip Radulovic // Universidad Politecnica de Madrid Facultad de Informatica. – 2011. – 116 p.*

16. *Rafa E. Al-Qutaiash Quality Models in Software Engineering Literature: An Analytical and Comparative Study / E. Rafa // Journal of American Science. – 2010. 6(3). – P. 166-175.*

17. *Namita Malhotra. An Efficient Software Quality Models for Safety and Resilience / Namita Malhotra, Shefali Pruthi // International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE). – 2012. – Volume 1, Issue 3. – P. 66-70.*

18. *Gordeyev A. Case-based Software Reliability Assessment by Fault Injection Unified Procedures / A. Gordeyev, V. Kharchenko, A. Andrashov, V. Sklyar, B. Konorev, A. Boyarchuk // In.proc. of Software Engineering in East and South Europe (SEESE'08), May 13, 2008. – Leipzig, Germany: ACM, 2008. – P. 1-8.*

19. *Guy Schiavone. A Life Cycle Software Quality Model Using Bayesian Belief Networks / Guy Schiavone // University of Central Florida Orlando. – 2006. – P. 301.*

20. *International Standard ISO 9126-1. Software engineering – Product quality – Part 1: Quality. – 2001. – 32 p.*

21. *Jacobson I. The Unified Software Development Process / I. Jacobson, G. Booch, J. Rumbaugh // Addison Wesley Longman, Inc. – 1999. – 512 p.*

22. *Rüdiger Lincke. Software Quality Prediction Models Compared / Rüdiger Lincke, Tobias Gutzmann, Welf Löwe // Int. Conference on Quality Software. – 2010. – P. 82-91.*

23. *Stavrinoudis, Xenos. Comparing internal and external software quality measurements // Proceedings of the 8th Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering, IOS Press. – 2008. – P. 115-124.*

24. *Amit Sharma. Comparison of Software Quality Metrics for Object-Oriented System/ Amit Sharma, Sanjay Kumar Dubey // IJCSMS International Journal of Computer Science & Management Studies. – 2012. Special Issue of Vol. 12. – P. 12-24.*

25. *Stefan Wagner. Software product quality control / Stefan Wagner. – Springer, 2013. – 210 p.*

Поступила в редакцию 13.06.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.М. Конорев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ЕВОЛЮЦІЯ МОДЕЛЕЙ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ: МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ У КОНТЕКСТІ СТАНДАРТУ ISO 25010

О.О. Гордєєв, В.С. Харченко

Проведено еволюційний аналіз моделей якості (МЯ) програмного забезпечення (ПЗ) за останні сорок років, починаючи з однієї з перших МЯ ПЗ Мак-Кола і закінчуючи моделлю, наданій у стандарті ISO 25010. Для аналізу відібрано 9 моделей, які розділені на множини базових і корпоративних МЯ з урахуванням їхньої повноти, детальності та значущості. У якості базових відібрано моделі Мак-Кола Мак-Кола (1977), IEEE 1219 (1993), ISO9126-1 (2001), ISO 25010 (2010). Структура МЯ ПЗ описується ієрархією, елементами якої є множини характеристик (підхарактеристик, підпідхарактеристик) і відношень підлеглості між ними. Для оцінювання складності та повноти МЯ ПЗ, а також їх порівняння з останньою базовою моделлю ISO 25010 запропоновано спеціальні часткові та загальні метрики. Розроблено методику порівняльного аналізу МЯ ПЗ. Одержано аналітичну залежність зростання складності моделей, яка представлена лінійною функцією. Проаналізовано еволюцію окремих характеристик якості (функціональної придатності, ефективності, надійності, зручності використання, безпеки та інші.). Сформульовано висновки щодо тенденцій зміни МЯ ПЗ та зроблено прогноз їхнього розвитку. Визначено напрями подальших досліджень, пов'язаних з проведенням детального семантичного аналізу характеристик і підхарактеристик, аналізу еволюції метрик і методик оцінювання.

Ключові слова: модель якості, еволюційний аналіз, програмне забезпечення.

EVOLUTION OF SOFTWARE QUALITY MODELS: THE TECHNIQUE AND RESULTS OF ANALYSIS IN CONTEXT OF THE STANDARD ISO 25010

O.O. Gordieiev, V.S. Kharchenko

Analysis of software (SW) quality model (QM) evolution during the last forty years beginning one of the first McCall's QM to model described in the standard ISO 25010 (2010) is fulfilled. 9 SW quality models were selected for analysis and divided into sets of basic and corporative QMs taking into account their completeness, thoroughness and relevance. Choice of the McCall's QM (1977), QMs of IEEE 1219 (1993), ISO9126-1 (2001), ISO 25010 (2010) as a basic models is grounded. Structure of the QMs is formally described by hierarchy model, elements of one are sets of attributes (subattributes or subsubattributes) and relation of subordination between them. A special general and specific metrics are suggested to assess complexity and completeness of the QMs and to compare with the basic model ISO 25010. The technique (principles and algorithm) for comparative analysis of the SW QMs is developed. Analytic dependency of the QM complexity growth on time (during last 40 years) is received. Evolution of the SW quality attributes (functionality, effectiveness, reliability, usability, safety and others) is analyzed. The tendencies of the SW QM changing are discussed and predicted. The directions of future research regarding detailed semantic analysis of quality attributes, evolution of metrics and evaluation techniques are formulated.

Keywords: quality model, evolutionary analysis, software.