

$\{A_2, A_3\}$. Тогда для величины объектов определено отношение порядка на основании операции включения $\omega_1 \subseteq \omega_2 \subseteq \omega_3$. Определение величины объекта логически непротиворечиво. Так, если все три объекта совпадают, $A_1=A_2=A_3$, то величина объектов совпадает, $\omega_1=\omega_2=\omega_3$. Если совпадают два из трех объектов, $A_1=A_2$, то величина соответствующих объектов совпадает, $\omega_1=\omega_2$ и аналогично, если $A_2=A_3$, то $\omega_2=\omega_3$. В общем случае для множества объектов A_1, A_2, \dots, A_n , которые упорядочены по величине Q величину объекта A_k можно определить как множество $\omega_k = \{\{A_1\}, \{A_1, A_2\}, \{A_2, A_3\}, \dots, \{A_{k-1}, A_k\}\}$.

Если считать, что для множества величин $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$ определена неаддитивная мера (рейтинг), то каждому объекту A_k можно поставить в соответствие величину объекта ω_k и рейтинг объекта $r(\omega_k)$. Следовательно, для объектов, величин объектов и рейтинг объектов определена композиция изоморфизмов $A_k \rightarrow \omega_k \rightarrow r(\omega_k)$, для которой выполняется $A_i \leq A_j \Leftrightarrow \omega_i \subseteq \omega_j \Leftrightarrow r(\omega_i) \leq r(\omega_j)$. Поэтому определим, что рейтинг объекта равен рейтингу соответствующей величины объекта $r(A_i) = r(\omega_i)$, $i=1, 2, \dots, n$. Тогда для рейтинга объектов будет выполняться соотношение

$$r(\{A_i, A_j\}) = r(A_i) - r(A_j), \text{ если } A_i \geq A_j. \quad (7)$$

Определение. Если величина объектов A_1, A_2, \dots, A_n изменяется равномерно, то объекты упорядочены и для объектов определен рейтинг r таким образом, что $r(A_2) - r(A_1) = r(A_3) - r(A_2) = \dots = r(A_n) - r(A_{n-1})$, $r(A_2) - r(A_1) > 0$.

Пример 2. Пусть события A_1, A_2, A_3 упорядочены по вероятности и выполняется отношение порядка $A_1 \leq A_2 \leq A_3$. Определим величину вероятности событий A_1, A_2, A_3 как $\omega_1 = \{\{A_1\}\}$, $\omega_2 = \{\{A_1\}, \{A_1, A_2\}\}$, $\omega_3 = \{\{A_1\}, \{A_1, A_2\}, \{A_2, A_3\}\}$. Множество величин $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3\}$ упорядочено с помощью операции включения \subseteq . Пусть эксперт считает, что величина вероятности событий A_1, A_2, A_3 изменяется равномерно, тогда для рейтинга вероятности $r(A_2) - r(A_1) = \lambda$, $r(A_3) - r(A_2) = \lambda$, $\lambda > 0$, λ – неизвестная постоянная.

С помощью рейтинга можно сравнивать альтернативы в теории полезности. Если дано некоторое множество альтернатив A_1, A_2, \dots, A_n , упорядоченных с помощью отношение предпочтения \preceq , то действительная функция $u(A_i)$ является функцией полезности, если выполнено условие: для $A_i \preceq A_j$ выполняется $u(A_i) \leq u(A_j)$.

Пример 3. Пусть на множестве альтернатив A_1, A_2, A_3 определено отношение предпочтения $A_1 \preceq A_2 \preceq A_3$. Определим величину полезности альтернатив как множества $\omega_1 = \{\{A_1\}\}$, $\omega_2 = \{\{A_1\}, \{A_1, A_2\}\}$, $\omega_3 = \{\{A_1\}, \{A_1, A_2\}, \{A_2, A_3\}\}$, которые упорядочены с помощью операции включения \subseteq . Пусть эксперт считает, что величина полезности альтернатив A_1, A_2, A_3 изменяется равномерно, тогда для рейтинга альтернатив выполняется $r(A_2) - r(A_1) = \lambda$, $r(A_3) - r(A_2) = \lambda$, λ – неизвестная постоянная, $\lambda > 0$.

Будем считать, что при любом измерении значения величины определены с точностью до изоморфизма, и рассматривать два способа определения значений величины Q : $q(A) = r(A)$, где $q(A) \in R$ или $q(A) = \exp(r(A))$, $q(A) \in R^+$.

Определение. Пусть определен рейтинг объектов A_i , $i=1, 2, \dots, n$. Значения величины – это числовая функция $q_i = q(A_i)$, определенная на множестве объектов A_i , $i=1, 2, \dots, n$ для которой в зависимости от способа сравнения выполняется

$$q_i - q_j = r(A_i) - r(A_j) \quad (8)$$

$$\text{или} \quad \ln(q_i/q_j) = r(A_i) - r(A_j), \quad (9)$$

где $i=1, 2, \dots, n$, $j=1, 2, \dots, n$, причем способ сравнения выбирается априори. Данное определение означает, что если найден рейтинг величины объекта, то можно произвольно выбрать способ сравнения и найти значения величины с помощью равенств (8) или (9). Данное определение означает, что если найден рейтинг величины объекта, то можно произвольно выбрать способ сравнения и найти значения величины с помощью равенств (8) или (9). Определение отражает особенность неаддитивного измерения величины.

УДК 004.05

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВСТРОЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ В ОАО «РУДЕНСК»

Спесивцева Ю.Б., Душина Т.В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Стратегической целью ОАО «Руденск» является максимально возможное удовлетворение требований потребителей светотехнической продукции. Основным средством для достижения этой цели является система менеджмента качества, соответствующая ISO/TS 16949-2009, СТБ ISO/TS 16949.

В связи с появлением новой версии стандарта IATF 16949:2016 (2016 года) появилась необходимость в совершенствовании системы менеджмента качества в части выполнения требований стандарта

к оценке качества встраиваемого программного обеспечения (ПО) светотехнических изделий.

Оценив риски разработки встраиваемого программного обеспечения и проанализировав существующие методики для оценки его качества был выбран метод интегральной оценки качества программных средств (ГОСТ 28195), основанный на иерархической модели качества.

Оценка качества ПО проводится экспертной группой на этапе его применения (Таблица 1) и включает

выбор номенклатуры показателей, их оценку и сопоставление полученных значений показателей с базовыми значениями.

Таблица 1

Фаза	Результат
Внедрение	Подтверждение стабильной эксплуатации. Предоставление набора услуг по внедрению
Эксплуатация	Предложения по улучшению. Сообщения о функциональных отклонениях
Обслуживание (сопровождение)	Информация о сопровождении программы. Изменения в программном обеспечении

В состав экспертной группы входят руководитель и два эксперта.

Руководитель экспертной группы:

- получает план оценки качества ПО;
- перед началом проведения процедуры независимой оценки качества ПО доводит до сведения руководителя отдела АСУ организации порядок работы экспертной группы;

- организует и координирует работу экспертов при проведении процедуры независимой оценки качества ПО;

- выполняет работу эксперта в соответствии с планом;

- по окончании проведения процедуры независимой оценки качества ПО готовит заключение, составленное на основании обработки, анализа и интерпретации полученных результатов.

Программное обеспечение в соответствии с ГОСТ 28195 относится к типу 505 – прикладные программы для управления техническими устройствами и технологическими процессами. Для показателей качества на всех уровнях (факторы, критерии, метрики, оценочные элементы) принимается единая шкала оценки от 0 до 1.

Показатели качества на каждом вышестоящем уровне (кроме уровня оценочных элементов) определяются показателями качества нижестоящего уровня:

- результат оценки каждого фактора определяется результатами оценки соответствующих ему критериев;

- результат оценки метрик определяется результатом оценки определяющих ее оценочных элементов;

- результат оценки критерия определяется результатом оценки соответствующих ему метрик.

На каждом уровне (кроме уровня оценочных элементов) проводятся вычисления показателей качества ПО, т.е. определение количественных значений абсолютных показателей P_{ij} , (j – порядковый номер показателя данного уровня для i -го показателя вышестоящего уровня) и относительных показателей K_{ij} , являющихся функцией показателя P_{ij} и базового значения $P_{ij}^{баз}$.

Каждый показатель качества 2-го и 3-го уровней (критерий и метрика) характеризуется двумя числовыми параметрами – количественным значением и весовыми коэффициентами V_{ij} .

Сумма весовых коэффициентов показателей уровня l , относящихся к i -му показателю вышестоящего уровня $l-1$, есть величина постоянная. Сумма весовых коэффициентов V_{ij} принимается равной 1: $\sum_{j=1}^n V_{ij} = const = 1$, где n – число показателей уровня l относящихся к i -ому показателю вышестоящего уровня $l-1$.

Общая оценка качества ПО в целом формируется экспертами по набору полученных значений оценок факторов качества.

Для оценки качества ПО различного назначения методом экспертного опроса составляется таблица значений базовых показателей качества ПО.

Определение усредненной оценки m_{kq} оценочного элемента по нескольким его значениям m , проводится по формуле $m_{kq} = \frac{\sum_{p=1}^t m_p}{t}$, где t – число значений оценочного элемента; k – порядковый номер метрики; q – порядковый номер оценочного элемента. Итоговая оценка k -той метрики j -го критерия осуществляется по формуле: $K_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_{ij}^{баз}}$.

Фактор качества K_i^Φ определяется по формуле $K_i^\Phi = \sum_{j=1}^N (K_{ij} \cdot V_{jk}^k)$, где N – число критериев фактора, относящееся к i -му фактору.

Качество ПО определяется путем сравнения полученных расчетных значений показателей с соответствующими базовыми значениями показателей существующего аналога или расчетного ПО, принимаемого за эталонный образец. За базовые значения оценки принимали расчетные такого же функционального назначения, с такими же основными параметрами и применяемые в таких же условиях эксплуатации ПО, используемого в ОАО «КАМАЗ».

Критерии оценки качества, их метрики и оценочные элементы с оценками представляются в виде таблиц, занесенных в экспертную карту (фрагмент приведен в таблице 2).

Таблица 2

Метрика	Оценочный элемент	Оценка
Средства восстановления при ошибках на входе (0,4)	Полнота обработки ошибочных ситуаций	0,8
	Наличие тестов для проверки допустимых значений входных данных	0,6
	Наличие средств контроля корректности входных данных	0,9
	Наличие обработки граничных результатов	0,9

Оценка комплексных характеристик проводится группой экспертов коллегиально. Исходными данными для оценки являются результаты оценки единичных характеристик качества и соответствия требованиям. Оценка (число в интервале от 0,1 до 1) проставляется в правой колонке соответствующей строки формы, частично заполненной на предыдущем этапе.

В случае если при обсуждении эксперты смогут установить весовые коэффициенты, комплекс-

ные показатели получают расчетным методом весовой свертки. В противном случае, оценку (число в интервале от 0,1 до 1) выставляют в результате обсуждения.

Расчет интегрального показателя качества выполняется по формуле весовой свертки после уточнения группой экспертов весовых коэффициентов (значимости) комплексных характеристик качества.

Правила оценки соответствия нормативно-техническим документам по комплексным и интегральным показателям: если хотя бы одна единичная характеристика данного комплексного показателя имеет оценку «Не соответствует», такую же оценку получает комплексный показатель; если хотя бы один комплексный показатель имеет оценку «Не соответствует», такую же оценку получает интегральный показатель. Полученные оценки заносят в итоговую таблицу результатов оценки. По результатам выполнения данного и последующих этапов испытаний оформляется протокол с подписями всех участвовавших экспертов.

Все сотрудники должны осуществлять свою деятельность в соответствии с должностными инструкциями. Специалисты руководствуются в своей работе методикой оценки программного обеспечения, руководством по качеству, должностными инструкциями и требованиями, предъявляемыми к специалистам.

В результате проведенного анализа были получены следующие оценки факторов качества встроеного программного обеспечения:

- надежность - $K_n^{\phi} = 0,79$;
- сопровождаемость $K_c^{\phi} = 0,81$;
- удобство применения $K_y^{\phi} = 0,55$;
- эффективность $K_z^{\phi} = 0,9$;
- универсальность $K_{ун}^{\phi} = 0,75$;
- корректность $K_k^{\phi} = 0,84$.

Все показатели принимают значения в пределах требуемой нормы в соответствии с ГОСТ 28195. Итоговая базовая оценка качества программного обеспечения 0,77, что является хорошим результатом.

УДК 621.375.826

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СЕНСОРНЫЕ УСТРОЙСТВА НА КРЕМНИЕВЫХ ПОДЛОЖКАХ

Горбаченя К.Н.¹, Кисель В.Э.¹, Ясюкевич А.С.¹, Дейнека Р.В.¹, Мальцев В.В.²,
Леонюк Н.И.², Кулешов Н.В.¹

¹ НИЦ «Оптических материалов и технологий» БНТУ, Минск, Республика Беларусь

² МГУ им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Москва, Россия

Лазерное излучение с длиной волны 1.5-1.6 мкм имеет ряд достоинств, интересных для широкого практического применения в лазерной дальнометрии, медицине и лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии благодаря целому ряду причин. Основным преимуществом указанного излучения является условная безопасность для органов зрения людей вследствие того, что малая часть излучения попадает на сетчатку, поглощаясь до нее роговицей и хрусталиком. К тому же, благодаря прозрачности атмосферы, а также высокому пропусканию излучения с длиной волны 1.5-1.6 мкм в условиях тумана, дыма и пара, лазерные источники указанного диапазона используются в системах оптической локации и дистанционного зондирования Земли.

В настоящее время существует большое количество источников лазерного излучения с длиной волны 1.5-1.6 мкм. Однако благодаря простоте и компактности конструкции, наибольший интерес разработчиков лазерных систем привлекают твердотельные лазеры на основе материалов, соактивированных ионами эрбия и иттербия. На сегодняшний день наибольшее практическое распространение среди эрбий-иттербиевых сред получили фосфатные стекла, которые характеризуются необходимыми спектроскопическими свойствами для получения эффективной лазерной генерации в области 1.5-1.6 мкм. Однако основным недостатком

использования фосфатных стекол с ионами эрбия и иттербия в качестве лазерных сред является их низкая теплопроводность (0.85 Вт/м×К) и, как следствие, низкий порог теплового разрушения в лазерах с высокой средней выходной мощностью.

Кристаллы гадолиний-алюминиевого бората, соактивированные ионами эрбия и иттербия, (Er,Yb:GdAl₃(BO₃)₄) благодаря высокой теплопроводности и соответствию требованиям для получения эффективной генерации зарекомендовали себя ранее как перспективные активные среды для лазеров с высокой средней выходной мощностью, излучающих в спектральном диапазоне 1.5-1.6 мкм. При их использовании получен непрерывный режим генерации с максимальной выходной мощностью до 1.7 Вт на длине волны 1550 нм и дифференциальной эффективностью 30%. В режиме пассивной модуляции добротности получены лазерные импульсы с энергией и частотой следования до 18 мкДж и 60 кГц, соответственно. Однако длительность лазерных импульсов в данном случае достигала 12 нс. В работе сообщается о реализации Er,Yb:GdAl₃(BO₃)₄ (GdAB) микрочип лазера с пассивной модуляцией добротности, который имеет полностью «монолитную» неразъединяемую конструкцию, что обеспечивает возможность трехкратного сокращения длительности лазерных импульсов до 4 нс за счет уменьшения геометрической длины резонатора.