

УДК 681.518

**Г.Ф. КРИВУЛЯ, А.С. ШКИЛЬ, Д.Е. КУЧЕРЕНКО***Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина***ЭКСПЕРТНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

*В статье рассмотрена проблема определения качества программного обеспечения на этапе его эксплуатации с помощью системы поддержки принятия решения. Для получения интегрального показателя качества программы предложено использовать экспертное оценивание его количественных и качественных характеристик (критериев качества). Именно факт наличия качественных критериев, которые сложно поддаются численной оценке, и обусловил выбор нечеткой логики в качестве аппарата. Применение системы нечеткого вывода как основы для работы системы поддержки принятия решения дало возможность учесть «размытость» понятия качества и автоматизировать процесс определения качества программы.*

**Ключевые слова:** качество программного обеспечения, критерии качества, нечеткая логика, система нечеткого вывода.

**Введение**

В настоящее время огромное количество программного обеспечения (ПО), имеющего сходное функциональное назначение, создает жесткую конкуренцию на рынке программной продукции. Качество ПО является решающим фактором при совершении выбора. Таким образом, в определении качества ПО заинтересованы не только его разработчики, но и потребители. Основой регламентирования показателей качества программных средств является международный стандарт ISO 9126:1993 «Информационная технология. Оценка программного продукта. Характеристики качества и руководство по их применению» [1]. Согласно данному стандарту качество ПО определяется как совокупность характеристик (функциональная пригодность, надежность, применимость, эффективность, сопровождаемость, переносимость), позволяющих удовлетворить потребности всех заинтересованных лиц.

Существует два подхода к определению качества ПО [2]: оценка внешних показателей, непосредственно наблюдаемых при испытаниях ПО, и оценка внутренних показателей качества, основанных на технологических свойствах программы. Пользователей же в большей степени интересуют именно внешние показатели. Например, если ПО позволяет выполнить требуемую функцию, то пользователю не важно, какой алгоритм заложен, и насколько сложным является текст программы. Внешние показатели зачастую являются не только количественными, но и качественными. Пользователи ПО не являются профессионалами в области его разработки. Поэтому для оценки его качества целесообразно использовать экспертное оценивание по

выбранным критериям. Так как экспертом является пользователь ПО, то ему проще формулировать свое решение не в числовой форме, а лингвистически. Именно этот факт и обусловил выбор в качестве инструмента оценки качества ПО нечеткую логику.

Целью данной статьи является разработка процедуры оценки качества программного обеспечения на этапе его эксплуатации с использованием экспертного оценивания критериев качества как входной информации для системы нечеткого вывода.

**1. Выбор критериев экспертного оценивания качества ПО**

В качестве примера рассмотрим программное обеспечение, которое представляет собой web-сервис хранения и обмена документами (“Соріа.org.ua”). В ходе данного эксперимента ограничимся лишь анализом качества данного ПО с точки зрения пользователя, т.е. качеством на этапе эксплуатации (quality in use). Стандарт ISO 9126:1993 (часть 4) предлагает систему из четырех критериев (атрибутов):

1. Результативность (effectiveness) – способность ПО обеспечивать пользователям возможность достигать определенные цели с точностью и полнотой в заданном контексте использования.

2. Продуктивность (productivity) – способность ПО обеспечивать пользователям возможность расходовать количество ресурсов, соответствующее результативности, достигаемой в заданном контексте использования.

3. Безопасность (safety) – способность ПО достигать приемлемых уровней риска причинения вреда людям, бизнесу, другому программному обес-

печению при соответствующем контексте использования.

4. Соответствие ожиданиям (satisfaction) – способность ПО удовлетворять запросы пользователя в заданном контексте использования.

Специфика рассматриваемого программного обеспечения (web-сервис хранения и обмена документами) оказывает влияние на смысловую нагрузку каждого критерия.

Так для оценки результативности применим метод взвешенного суммирования, в котором нормированные величины параметров умножаются на соответствующие веса. В качестве параметров будут выступать наиболее важные функции, характерные для ПО данного класса, полнота и точность реализации которых оценивается по 10-бальной шкале:  $F_1$  – загрузка/выгрузка документов;  $F_2$  – управление доступом к файлам;  $F_3$  – регистрация/авторизация;  $F_4$  – поиск по файлам пользователей. Далее проранжируем эти функции в порядке возрастания важности, присваивая каждому критерию вес, начиная от менее важной (вес равен 1) и заканчивая самой важной функцией (вес равен 4) с точки зрения пользователя ( $F_4=1, F_3=2, F_2=3, F_1=4$ ).

Теперь, оценив полноту и точность каждой функции, подставим эти значения в следующее выражение и получим оценку результативности ПО ( $\max=100$  баллов):  $4 \cdot F_1 + 3 \cdot F_2 + 2 \cdot F_3 + F_4$ .

Шкала оценивания результативности:

- низкий уровень (0 – 70 б.);
- средний уровень (55 – 85 б.);
- высокий уровень (70 – 100 б.).

Для оценки продуктивности данного класса программ (файлообменный сервис) будем использовать время реакции (отклика) сервиса на запросы при решении главной функциональной задачи (в секундах):  $t_{\text{upload}}$  – время выгрузки файла размером 1 МБ со скоростью Интернет соединения 1,2 МБит/сек.;  $t_{\text{download}}$  – время загрузки файла размером 1 МБ со скоростью Интернет соединения 3,7 МБит/сек.

Измеряем время  $t_{\text{upload}}$  и  $t_{\text{download}}$ , нормируя эти значения по шкале от 0 до 100 баллов. Для нормализации воспользуемся следующей формулой:

$$t' = 100 - [(t_{\max} - t_{\min}) \cdot (t - t_{\min})], \quad (1)$$

где  $t_{\min}$  – минимально возможное время загрузки (выгрузки);  $t_{\max}$  – максимально допустимое время загрузки (выгрузки).

Подставив нормированные значения в следующее выражение, получим оценку продуктивности ПО ( $\max=100$  баллов):  $(t'_{\text{download}} + t'_{\text{upload}}) / 2$ .

Шкала оценивания продуктивности:

- низкий уровень (0 – 40 б.);
- средний уровень (30 – 70 б.);
- высокий уровень (60 – 100 б.).

При анализе безопасности необходимо определить уровень риска ( $R$ ), т.е. потенциального ущерба, который может быть нанесен пользователю в результате использования данного сервиса. Для установления величины риска необходимо использовать комбинацию принимаемых значений для величин вероятности (0 – 10 баллов) и тяжести последствий (0 – 10 баллов (табл. 1).

Таблица 1  
Количественная оценка риска  $R$

Тяжесть последствий	Вероятность возникновения
Хищение конфиденциальных данных для коммерческих целей (10 баллов)	10 раз/100 ч. (10 баллов)
Хищение конфиденциальных данных для некоммерческих целей (9 баллов)	9 раз/100 ч. (9 баллов)
Хищение персональной идентификационной информации с целью причинения материального ущерба (8 баллов)	8 раз /100 ч. (8 баллов)
Хищение персональной идентификационной информации с целью причинения морального ущерба (7 баллов)	7 раз/100 ч. (7 баллов)
Несанкционированная модификация, приводящая к нарушению целостности данных с целью причинения материального ущерба (6 баллов)	6 раз/100 ч. (6 баллов)
Несанкционированная модификация, приводящая к нарушению целостности данных с целью причинения морального ущерба (5 баллов)	5 раз/100 ч. (5 баллов)
Временная потеря доступа к данным (4 балла)	4 раз/100 ч. (4 балла)
Несанкционированное изменение имени файлов с целью их сокрытия (3 балла)	3 раз/100 ч. (3 балла)
Потеря невозможных личных данных в результате сбоя в работе сервиса (2 балла)	2 раз/100 ч. (2 балла)
Потеря восстанавливаемых личных данных в результате сбоя в работе сервиса (1 балл)	1 раз/100 ч. (1 балл)
Нет последствий (0 баллов)	0 раз/100 ч. (0 баллов)

Уровень риска  $R$  определяется путем перемножение баллов, в которых оценивается тяжесть последствия на баллы, в которых оценивается веро-

ятность возникновения этих последствий. Таким образом, значения  $R$  будут находиться в диапазоне  $[0; 100]$ . Тогда уровень безопасности имеет обратную зависимость от уровня риска:

- высокий уровень:  $0 < R < 30$  (0 – 30 б.);
- средний уровень:  $20 < R < 80$  (20 – 80 б.);
- низкий уровень:  $50 < R < 100$  (50 – 100 б.).

Под критерием «соответствие ожиданиям» будем понимать комфортность эксплуатации web-сервиса. Наличие той или иной особенности, влияющей на данный критерий, оценивается максимум в 20 баллов (табл. 2).

Таблица 2  
Оценка «соответствия ожиданиям»

Параметры, влияющие на критерий	Баллы
Докачка после обрыва связи ( $\Pi_1$ )	20
Скачивание в несколько потоков ( $\Pi_2$ )	20
Загрузка группы файлов ( $\Pi_3$ )	20
Срок хранения на бесплатном аккаунте: < 7 дней ( $\Pi_4^1$ )	10
7– 15 дней ( $\Pi_4^2$ )	15
> 30 дней ( $\Pi_4^3$ )	20
Объем загружаемого файла: < 1 ГБ ( $\Pi_5^1$ )	10
1– 2 ГБ ( $\Pi_5^2$ )	15
> 10 ГБ ( $\Pi_5^3$ )	20

Оценка критерия «соответствие ожиданиям» определяется как сумма всех баллов по всем параметрам. Шкала оценивания (0 – 100 баллов):

- низкий уровень (0 – 40 б.);
- средний уровень: (30 – 70 б.);
- высокий уровень: (60 – 100 б.).

## 2. Система поддержки принятия решения о качестве ПО

Так как рассматриваемые атрибуты программы относятся к качественным характеристикам, то для оценки применяется метод экспертных оценок, который заключается в следующем: эксперт (пользователь) в результате изучения представленной документации и самой программы составляет свое

мнение о соответствии ПО требуемым критериям качества. При этом каждый признак качества должен быть представлен в виде лингвистической переменной (ЛП), значениями которой являются имена нечетких термов [3].

Таким образом, получим четыре входных ЛП (оценка критериев, ОК) «результативность» (ОК\_1), «продуктивность» (ОК\_2), «безопасность» (ОК\_3) и «соответствие ожиданиям» (ОК\_4) и одну выходную переменную «качество ПО» ( $K_{ПО}$ ). Параметры ЛП приведены в табл. 3.

Таблица 3  
Параметры термов всех ЛП

Название ЛП	Термы	Диапазоны	
Результативность	Н	0	70
	С	55	85
	В	70	100
Продуктивность	Н	0	40
	С	30	70
	В	60	100
Безопасность	Н	0	30
	С	20	80
	В	50	100
Соответствие ожиданиям	Н	0	40
	С	30	70
	В	60	100
Качество ПО	ОН	0	25
	Н	15	45
	С	35	65
	Д	55	85
	В	75	100

Эксперты предложили набор продукционных правил (76 правил), подход к созданию которых изложен в [4], как основу для работы системы поддержки принятия решения о качестве ПО. Учитывая большой объем правил, приведем в качестве примера лишь несколько из них (рис. 1).

Тип функций принадлежности (ФП) измеряемых величин (ЛП) выбирается экспертом на основе предположений о свойствах этих функций (симметричность, монотонность и т.д.) с учетом специфики их распределения. Это могут быть как стандартные формы ФП (гауссова, треугольная, трапециевидная, S- или Z-функции), так и их комбинации.

- |   |
|---|
| <p>1. If (ОК_1 is Н) and (ОК_2 is Н) and (ОК_3 is Н) and (ОК_4 is Н) then (<math>K_{ПО}</math> is ОН)<br/> 2. If (ОК_1 is Н) and (ОК_2 is Н) and (ОК_3 is Н) and (ОК_4 is С) then (<math>K_{ПО}</math> is Н)<br/> .....<br/> 16. If (ОК_1 is С) and (ОК_2 is С) and (ОК_3 is С) then (<math>K_{ПО}</math> is С)<br/> .....<br/> 62. If (ОК_1 is В) and (ОК_2 is В) and (ОК_3 is В) and (ОК_4 is С) then (<math>K_{ПО}</math> is Д)<br/> .....<br/> 76. If (ОК_1 is В) and (ОК_2 is В) and (ОК_3 is В) and (ОК_4 is В) then (<math>K_{ПО}</math> is В)</p> |
|---|

Рис. 1. Набор продукционных правил

### 3. Результаты работы системы поддержки принятия решения

В ходе динамического тестирования, когда тестирование выполняется на функциональных режимах в реальном масштабе времени, экспертом было установлено следующее.

Функциональность сервиса полная, однако, возникают небольшие трудности при управлении доступом файлов (8 баллов из 10) и при регистрации (8 баллов из 10), а механизм поиска на сайте выдает файлы, нерелевантные запросу (5 баллов из 10):

$$4 \cdot F_1 + 3 \cdot F_2 + 2 \cdot F_3 + F_4 = 40 + 24 + 16 + 5 = 85 \text{ б.}$$

Время загрузки/выгрузки файла размером 1 МБ при скорости 3,7 Мбит/сек. и 1,2 Мбит/сек. соответственно определяется пользователем при помощи секундомера:  $t_{\text{upload}} = 3,4 \text{ сек.}$ ,  $t_{\text{download}} = 8 \text{ сек.}$

Выполнив нормирование по формуле (1) получим  $t'_{\text{download}} = 88 \text{ баллов}$ ,  $t'_{\text{upload}} = 86 \text{ баллов}$ . Тогда оценка продуктивности:  $(88 + 86) / 2 = 87 \text{ баллов}$ .

Безопасность сервиса определяется тем фактом, что в течение 100 часов эксплуатации сервиса 3 раза было отмечено хищение персональной идентификационной информации с целью причинения морального ущерба. Таким образом, имеем уровень риска  $R = 3 \cdot 7 = 21 \text{ балл}$ , что соответствует 21 баллу надежности.

Факторы, влияющие на ожидания пользователя, оценены следующим образом:

$$П_1 = 0 \text{ баллов,}$$

$$П_2 = 0 \text{ баллов,}$$

$$П_3 = 20 \text{ баллов,}$$

$$П_4^2 = 15 \text{ баллов,}$$

$$П_5^1 = 10 \text{ баллов.}$$

Таким образом, суммарная оценка по критерию «соответствие ожиданиям» равна 45 баллам.

Итак, результаты экспертного оценивания данного ПО: «ОК\_1» = 85 баллов, «ОК\_2» = 87 баллов, «ОК\_3» = 21 балл, «ОК\_4» = 45 баллов.

В качестве алгоритма нечеткого вывода был выбран алгоритм Мамдани, где на этапе аккумуляции использовался метод граничной суммы и метод максимума, а в качестве метода дефаззификации – метод «центра тяжести». Для анализа результатов диагностирования использовалась математическая система Matlab 7.5, а именно, специальный пакет нечеткого вывода Fuzzy Logic Toolbox (лицензия № 532868 на продукт MathworkAcademic).

В табл. 4 приведены нечеткие множества и результаты дефаззификации для двух методов аккумуляции.

Таблица 4

Результаты системы нечеткого вывода

Метод аккумуляции	
max	sum
57,8	58,2

При использовании операции максимума в качестве метода аккумуляции система нечеткого вывода выдала следующие результаты: «К<sub>ПО</sub>» = 57,8 баллов, что с большей степенью ( $\mu_C(57,8) \approx 0,60$ ) принадлежит среднему уровню (С) качества ПО. А при использовании операции граничной суммы «К<sub>ПО</sub>» = 58,2 баллов, что также с большей степенью ( $\mu_C(58,2) \approx 0,57$ ) принадлежит среднему уровню (С) качества ПО.

### Выводы

Определение качества ПО является сложной задачей, несмотря на наличие ряда стандартов, и может трактоваться по-разному, в зависимости от ситуации. Такая субъективность при определении качества ПО и обусловила использование аппарата нечеткого вывода в качестве основы для работы системы поддержки принятия решения.

Предложенный подход позволил оперировать не только количественными, но и качественными критериями качества ПО, что позволило получить интегральный показатель его качества на этапе эксплуатации.

### Литература

- ГОСТ Р ISO/МЭК 9126-93. Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению [Текст]. – М.: Изд-во стандартов ордена «Знак почета», 1993. – 15 с.
- Антошина, И.В. Основные тенденции оценивания качества программных средств [Текст] / И.В. Антошина, В.Г. Домрачев, И.В. Ретинская // Информационные технологии в менеджменте качества и инновационном менеджменте. – 2004. – № 1. – С. 70 – 75.
- Штовба, С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Текст] / С.Д. Штовба. – Винница: Изд-во винницкого государственного технического университета, 2001. – 198 с.
- Нечеткая логика в экспертной оценке ИКТ-компетентностей / Г.Ф. Кривуля, А.С. Шкиль, Д.Е. Кучеренко, Е.В. Гаркуша // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2011. – № 2 (41). – С. 13 – 22.

*Поступила в редакцію 8.02.2013, рассмотрена на редколлегии 6.03.2013*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф. компьютерных систем и сетей В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

### **ЕКСПЕРТНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

*Г.Ф. Кривуля, О.С. Шкіль, Д.Ю. Кучеренко*

У статті розглянута проблема визначення якості програмного забезпечення на етапі його експлуатації за допомогою системи підтримки прийняття рішення. Для отримання інтегрального показника якості програми запропоновано використовувати експертне оцінювання його кількісних та якісних характеристик (критеріїв якості). Саме факт наявності якісних критеріїв, які складно піддаються чисельної оцінки, і зумовив вибір нечіткої логіки в якості апарату. Застосування системи нечіткого виводу як основи для роботи системи підтримки прийняття рішення дало можливість автоматизувати процес визначення якості.

**Ключові слова:** якість програмного забезпечення, критерії якості, нечітка логіка, система нечіткого вивода.

### **EXPERT ASSESSMENT FOR SOFTWARE PRODUCT QUALITY DEFINITION**

*G.F. Krivoulya, A.S. Shkil, D.E. Kucherenko*

The problem of the software product quality definition during its exploitation by decision support system was considered in the article. To obtain an integral indicator of the software quality, the expert assessment of its quantitative and qualitative characteristics (quality criteria) was offered to use. The complexity of the numerical evaluation of the quality criteria determined the choice of the fuzzy logic as a instrument. The application of the fuzzy logic as a basis for the decision support system has made it possible to automate the process of the quality definition.

**Key words:** software quality, quality criteria, fuzzy logic, fuzzy inference system.

**Кривуля Геннадий Федорович** – д-р техн. наук, профессор кафедры автоматизации проектирования вычислительной техники, Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков, Украина, e-mail: krivoulya@i.ua.

**Шкіль Александр Сергеевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации проектирования вычислительной техники, Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков, Украина, e-mail: shkil@opentest.com.ua.

**Кучеренко Дария Ефимовна** – аспирантка кафедры автоматизации проектирования вычислительной техники, Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков, Украина, e-mail: d\_zin@ukr.net.