

Е. П. ПАВЛЕНКО, С. В. ЛУБЕНЕЦ, В. А. АЙВАЗОВ

МОДЕЛИ И ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Рассмотрена проблема оценки качества программного обеспечения информационных систем. Проведен анализ достоинств и недостатков существующих методов оценки качества программного обеспечения информационных систем. Качество программного обеспечения рассматривается по отношению к достижению определенного перечня целей. Качество программного обеспечения выражается через функции удовлетворения потребностей пользователя и конечный эффект, возникающий вследствие повышения информированности пользователя информацией системы о процессах, происходящих на объекте управления. Первичные показатели качества характеризуют программное обеспечение с точки зрения достижения заданного уровня качества по тому или иному свойству, отражающему общую закономерность функционирования программного обеспечения информационной системы, и зависят от значений показателей нижележащих уровней. Предложена итеративная диалоговая процедура оценки качества программного обеспечения, позволяющая на основе предпочтений пользователя выбрать свойства, формирующие качество программного обеспечения, и измерить значения показателей качества. На основании анализа перечня потребительских свойств программного обеспечения, систематизации основных сравнительных характеристик и требований к информационным системам выделены основные критерии качества для программного обеспечения информационных систем: функциональный критерий; критерий надежности; информационный критерий; критерий быстродействия; критерий использования памяти. Предложены показатели, входящие в функциональный критерий качества, в частности, среднее время выдачи информации на запрос; вероятность выдачи отказа на запрос при наличии информации; вероятность возникновения необходимости подачи запроса, вид которого не предусмотрен в информационной системе. Предложены способы вычисления значений этих показателей. Сделан вывод, что предлагаемая процедура применима для сравнительной оценки качества различных программных комплексов.

Ключевые слова: программное обеспечение, информационные системы, качество, процедура, многокритериальное оценивание, функциональный критерий

Є. П. ПАВЛЕНКО, С. В. ЛУБЕНЕЦЬ, В. А. АЙВАЗОВ

МОДЕЛІ І ПОКАЗАНИКИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРОГРАММНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Розглянуто проблему оцінки якості програмного забезпечення інформаційних систем. Проведено аналіз переваг і недоліків існуючих методів оцінки якості програмного забезпечення інформаційних систем. Якість програмного забезпечення розглядається по відношенню до досягнення певного переліку цілей. Якість програмного забезпечення виражається через функції задоволення потреб користувача і кінцевий ефект, що виникає внаслідок підвищення інформованості користувача інформаційної системи про процеси, що відбуваються на об'єкті управління. Первинні показники якості характеризують програмне забезпечення з точки зору досягнення заданого рівня якості з того чи іншого властивості, що відбиває загальну закономірність функціонування програмного забезпечення інформаційної системи, і залежать від значень показників нижчих рівнів. Запропоновано ітеративна диалогова процедура оцінки якості програмного забезпечення, що дозволяє на основі уподобань користувача вибрати властивості, що формують якість програмного забезпечення, і виміряти значення показників якості. На підставі аналізу переліку споживчих властивостей програмного забезпечення, систематизації основних порівняльних характеристик і вимог до інформаційних систем виділені основні критерії якості для програмного забезпечення інформаційних систем: функціональний критерій; критерій надійності; інформаційний критерій; критерій швидкодії; критерій використання пам'яті. Запропоновано показники, що входять в функціональний критерій якості, зокрема, середній час видачі інформації на запит; ймовірність видачі відмови на запит при наявності інформації; ймовірність виникнення необхідності подання запиту, вид якої не передбачено в інформаційній системі. Запропоновано способи обчислення значень цих показників. Зроблено висновок, що запропонована процедура може бути застосована для порівняльної оцінки якості різних програмних комплексів.

Ключові слова: програмне забезпечення, інформаційні системи, якість, процедура, багатокритеріальне оцінювання, функціональний критерій

E. P. PAVLENKO, S. V. LUBENEC, V. A. AYVAZOV

MODELS AND INDICATORS FOR ASSESSING THE QUALITY OF INFORMATION SYSTEMS SOFTWARE

The problem of software quality assessment of information systems is considered. The analysis of advantages and disadvantages of existing methods for assessing the quality of software information systems. The quality of the software is considered in relation to the achievement of a certain list of goals. The quality of the software is expressed through the functions of satisfying the user's needs and the final effect that arises from increasing the information system user's awareness of the processes occurring at the control object. Primary quality indicators characterize the software from the point of view of achieving a given level of quality for a particular property reflecting the general pattern of functioning of the information system software and depend on the values of the indicators of the lower levels. An iterative interactive procedure for evaluating the quality of software is proposed, which makes it possible to select properties that form the quality of software based on user preferences and to measure the values of quality indicators. Based on the analysis of the list of consumer properties of software, systematization of the main comparative characteristics and requirements for information systems, the main quality criteria for the software of information systems are identified: a functional criterion; reliability criterion; information criterion; speed criterion; the criterion of memory usage. The indicators included in the functional quality criterion are suggested, in particular, the average time for issuing information on the request; the probability of issuing a refusal to request if information is available; probability of occurrence of necessity of submission of the inquiry which kind is not provided in information system. Methods for calculating the values of these indicators are proposed. It is concluded that the proposed procedure is applicable for comparative evaluation of the quality of various software systems.

Keywords: software, information systems, quality, procedure, multi-criteria evaluation, functional test.

Введение. В течение длительного промежутка времени ведутся интенсивные исследования по поиску методов и средств оценивания разнообразной продукции, в том числе и программно-алгоритмических средств. Методы измерения качества данных средств на сегодня еще не установились, находятся в

стадии поисков и апробации.

Единого подхода к построению конструктивного критерия оценки качества программного обеспечения (ПО) пока не найдено. Эту задачу сложно решить ввиду большого разнообразия структуры и функционального назначения ПО, а также наличия большого числа показателей качества программных средств, которые следовало бы учесть в формируемом критерии.

В связи с этим есть необходимость сузить класс исследуемых программных объектов, ограничиваясь программным обеспечением информационных систем (ИС), с тем, чтобы на конкретном программном продукте показать возможность синтеза обобщенного показателя качества и затем расширить класс исследуемых программных средств.

Постановка проблемы. В последние годы получены некоторые положительные результаты в области анализа качества ПО, наметился ряд сдвигов при поиске методов выбора номенклатуры показателей качества и их расчета. Однако построить единую методику оценки качества разнообразного ПО пока не представляется возможным в связи с тем, что ПО разных классов сильно различаются по назначению и другим характеристикам. Проблему построения такой методики следует решать путем разработки методик оценки качества ПО для каждого класса в отдельности и затем попытаться разработать общий подход.

В связи с этим необходимо выработать процедуру оценки качества ПО ИС, которая позволила бы выполнять анализ качества программного обеспечения по некоторой совокупности критериев, выполнять сравнение качества разных программных продуктов.

Реализация поставленной цели подразумевает решение следующих задач:

- выполнение обзора существующих методов оценки качества ПО;
- разработка итеративной процедуры оценки качества ПО ИС, которая учитывает предпочтения пользователей;
- выбор и обоснование методик расчета показателей, входящих в критерии качества ПО.

Анализ состояния проблемы. Б. Бозм, Дж. Браун в [1] отмечают, что экономическая целесообразность разработки системы показателей качества ПО имеется, если затраты на него не больше половины затрат на тестирование. Это подтверждает целесообразность разработки системы показателей качества программ для любой достаточно сложной ИС.

Какие требования выдвигаются к системе показателей?

В работе [2] указывается, что оценки должны быть надежными, внутренне согласованными, допускать возможность использования результатов измерений для предсказания какого-нибудь события, точно соответствовать абстрактному понятию измеряемого свойства. В [3] делается акцент на том, что оценка показателей качества ПО должна производиться на всех стадиях жизненного цикла ПО, на протяжении всего срока его службы.

Показатели качества ПО могут использоваться

для контроля за ходом разработки ПО, если они предоставляют достоверные данные о процессе функционирования ПО, а также для определения трудоемкости тестирования и оценки ПО. Программисты, получая в процессе разработки данные о качестве разрабатываемой программной системы, могут корректировать некоторые параметры системы в ходе разработки.

В работе [4] рассматривается построение системы критериев качества ПО методом «сверху вниз». Основное внимание уделено метрическим характеристикам качества, используются методы, основанные на элементах факторного анализа. Рассматривается способ оценки затрат труда для достижения определенного уровня качества программной системы. Однако слабо проработаны вопросы выведения обобщенной оценки качества ПО, слабо учитывается разная значимость отдельных показателей при оценке качества ПО разного типа и назначения.

Широкую известность получили метрики качества ПО Холстеда [5]. Наиболее важные метрики – длина программы, объем программы, отношения между операторами и операндами – «словарь программы», значения работы и времени программирования. Однако применение данных метрик возможно лишь при наличии исходного модуля программы, текста программы на языке высокого уровня, а это условие не всегда выполнимо.

Известны также метрики ПО Джилба [6]. В работе даны методы численной оценки значения многих метрик, проанализировано несколько десятков показателей, которые сгруппированы в соответствии со свойствами надежности, гибкости, структурированности, эффективности, трудоемкости. Однако не уделено должного внимания тому обстоятельству, что некоторые метрики имеют более важное значение для определения интегральной оценки качества ПО, а некоторые – менее важное, вследствие чего затруднена обобщенная оценка качества ПО.

В [7] предлагаются метрики кода программного обеспечения, такие как размер, сложность, поддерживаемость и другие. Однако не приведены математические модели определения значений показателей качества. В работе [8] рассмотрены метрики связности модулей, метрики сцепления модулей. Но применение данных метрик ориентируется на программные средства, разработанные по процедурной технологии.

Для объектно-ориентированных программ наиболее применимыми являются наборы метрик Мартина [9]. Вводится понятие категорий классов. Классы в категории разделяют некоторую общую функцию или достигают некоторой общей цели. Ответственность, независимость и стабильность категории могут быть измерены путем подсчета зависимостей, которые взаимодействуют с этой категорией. Однако не уделяется достаточно внимания вопросам программной надежности.

Критерий надежности ПО рассмотрен в [10]. Приводятся показатели надежности и классификация ошибок в программе. Модели надежности программ-

ных средств рассмотрены в [11]. Методам оценки надежности объектно-ориентированных программ посвящена работа [12].

Метод решения проблемы. Исследование качества ПО ИС базируется на следующих принципах системного исследования:

- использование двух уровней при описании качества: первый уровень отводится для содержательных определений и понятий, второй – для формальных;

- сочетание функционального подхода со структурным подходом, учитывающим структуру ИС;

- наличие иерархии моделей для исследования качества ПО;

- учет субъективной и объективной сторон информации. Количественные оценки качества ПО можно получить только с участием экспертов или пользователей ПО;

- использование статистических методов для анализа информационных процессов;

- качество ПО ИС необходимо рассматривать по отношению к достижению определенного перечня целей, где, в частности, достижение определенной экономической эффективности является одной из целей.

Качество ПО ИС выражается через функции удовлетворения потребностей пользователя и конечный эффект, возникающий вследствие повышения информированности пользователя ИС о процессах, происходящих на объекте управления. Вид этих зависимостей может быть аддитивным, мультипликативным или иметь другую форму:

$$P = f(U, E),$$

где P – показатель, характеризующий качество ПО;

U – показатель, характеризующий степень удовлетворения потребностей пользователя;

E – величина эффекта, образующегося вследствие повышения информированности пользователя.

Если интегральный показатель качества ПО ИС обозначить P , а обобщенные показатели качества ПО по i -му критерию качества обозначить P_i , то имеем следующую зависимость:

$$P = \langle P_1, P_2, \dots, P_n \rangle.$$

Для того, чтобы иметь возможность осуществлять сравнительную оценку качества нескольких программных комплексов, а также получить представление о месте рассматриваемого ПО ИС среди аналогичных программных продуктов, следует получить способ определения P не в виде вектора, а в виде скалярного значения, формирующегося путем учета уровня качества, достигнутого по всем рассматриваемым критериям качества ПО ИС.

Поскольку результаты функционирования ПО ИС представляют собой данные об описываемом объекте управления, то перечень свойств, формирующих качество результата функционирования, будет не совпадать с перечнем свойств, формирующих качество ПО ИС. К критериям качества результата функ-

ционирования относятся информационный критерий, критерий качества интерфейса пользователя.

Обладание вычисленным значением показателя P , равно как и значениями обобщенных показателей по критериям качества P_i еще не дает возможности судить о качестве ПО ИС. Чтобы получить такую возможность, следует осуществить процедуру оценивания качества.

Примем, что каждый показатель качества характеризуется параметром r_i , область определения которого – возможные значения соответствующего показателя качества.

Обозначим символом e_{ij} показатель эффективности, имеющий смысл вклада значения показателя r_i в значение показателя качества вышестоящего уровня i -го функционального блока, символом t_{ij} – затраты на достижение максимального уровня качества по j -му критерию на i -м функциональном блоке.

Тогда $E = \|e_{ij}\|$ – матрица показателей эффективности. Размер матрицы m на n , где n – число функциональных блоков ПО ИС, m – число показателей качества.

$D_i = \|d_{ijk}\|$ – матричные операторы совместности показателей качества. Здесь $d_{ijk} = 1$, если i -й показатель качества совместим с k -м на i -м функциональном блоке; $d_{ijk} = 0$ в противном случае; число матриц равно n .

$Z = \|z_{ij}\|$ – матрица рекомендаций, в которой $z_{ij} = 1$, если i -й показатель качества рекомендуется использовать при оценке качества i -го блока, $z_{ij} = 0$ в противном случае.

$\varphi(Z)$ – система ограничений, получаемая подстановкой в вектор r тех r_i , для которых $z_{ij} = 1$.

T_0 – допустимые затраты на достижение максимального качества.

T_1, T_2, \dots , – средства, остающиеся в распоряжении разработчика после 1, 2 и других шагов в обеспечении должного качества ПО ИС и эффективности его функционирования.

$U(Z)$ – вектор критериев качества ПО ИС.

Задача обеспечения требуемого уровня качества ПО ИС заключается в нахождении матрицы рекомендаций Z , удовлетворяющей следующим условиям.

Пусть F – множество всех $m \times n$ матриц $Z = \|z_{ij}\|$, заданное условиями:

$$z_{ij} \in \{0, 1\}, \quad (1)$$

$$z_{ij} \times z_{ik} \leq d_{ijk}, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} z_{ij} \leq T_0, \quad (3)$$

$$\varphi(Z) \geq 0. \quad (4)$$

Обозначим теперь через ε вектор, состоящий из наилучших, но одновременно недостижимых значений критериев $U_h(Z)$. Предположим, что на множестве значений вектора $U(Z)$ задана некоторая метрика

d. Тогда задачу обеспечения качества можно сформулировать как задачу о нахождении матрицы Z^* :

$$Z^* = \min d(U(Z), \varepsilon), \quad Z \in F, \quad (5)$$

Задача (1)–(5) имеет большую размерность. Значения некоторых переменных могут быть определены только экспертами или в диалоге с пользователем. Некоторые переменные не могут быть заданы явно. Для решения задачи нахождения приемлемого решения необходимо привлечение пользователя для уточнения предпочтений.

Решение задачи основано на следующей итеративной диалоговой процедуре.

Шаг 1. Уточнение множества критериев.

Шаг 2. Формирование множества допустимых решений.

Шаг 3. Расчет критериев по вариантам решений.

Шаг 4. Выбор модели постановщика и пользователя.

Шаг 5. Получение и уточнение информации о предпочтениях.

Шаг 6. Построение решающего правила.

Шаг 7. Поиск решения.

Шаг 8. Полученное решение удовлетворительно? Соответствует поставленной задаче? Если да, то конец. Если нет, то переход к шагу 9.

Шаг 9. Анализ причин неудовлетворенности и установление вида необходимых корректив. Возврат к шагам 1, 2, 4 или 5.

На основании анализа перечня потребительских свойств ПО, систематизации основных сравнительных характеристик и требований к ИС можно выделить такие основные критерии качества для ПО ИС:

- функциональный критерий;
- критерий надежности;
- информационный критерий;
- критерий быстродействия; критерий использования памяти.

Функциональный критерий включает следующие показатели:

- среднее время выдачи информации на запрос;
- вероятность выдачи отказа на запрос при наличии информации;
- вероятность возникновения необходимости подачи запроса, вид которого не предусмотрен в ИС;
- показатель качества обработки ошибок;
- показатель наличия аналога ПО;
- показатель учета возможности вести автоматический сбор и анализ статистики функционирования ПО;
- показатель учета возможности автоматического контроля целостности ПО ИС.

Одним из основных исходных показателей, входящих в функциональный критерий, является среднее время выдачи информации на запрос P_{11} .

Методика оценки данного показателя основана на измерении интервала времени между окончанием запроса и ответом t_i . Накопив значения интервалов времени, получаем значение показателя по формуле

$$P_{11} = \frac{(t_1 + t_2 + \dots + t_n)}{n},$$

где n – количество запросов.

Оценка вероятности выдачи отказа на запрос при наличии информации P_{12} с трудом поддается формализации. Для определения значения этого показателя следует зафиксировать количество отказов за длительный интервал времени и выяснить, какой процент отказов возник при действительном наличии запрашиваемой информации.

Для оценки вероятности возникновения необходимости подачи запроса, вид которого не предусмотрен в ИС – показателя P_{13} – следует привлечь эксперта.

Показатель P_{14} отражает качество обработки ошибок рассматриваемой программной системой. Он равен вероятности того, что возникшая ошибка будет обработана программой и будет выведено сообщение об ошибке.

Показатель P_{15} отмечает наличие аналога ПО под этой же или иной операционной системой.

Выводы. Был выполнен обзор существующих методов оценки качества ПО ИС, критериев качества программного обеспечения, установлены их достоинства и недостатки.

Предложена итеративная диалоговая процедура решения задачи оценки качества ПО ИС, состоящая из ряда этапов:

- уточнение множества критериев качества;
- формирование множества допустимых решений;
- расчет критериев по вариантам решений.

Предложены показатели качества ПО ИС, входящие в функциональный критерий качества, а также методики вычисления их значений. Одной из областей применения рассмотренной процедуры может стать сравнительная характеристика разных программных продуктов и выбор того из них, который наилучшим образом удовлетворяет потребности пользователя.

Список литературы

1. Бозм Б, Браун Дж. *Характеристики качества программного обеспечения.* – URL: <https://www.twirpx.com/file/1041051> (дата обращения: 08.05.2018)
2. *Качество программного обеспечения.* – URL: <https://iiba.ru/software-quality> (дата обращения: 08.05.2018)
3. *Качество программного обеспечения.* – URL: <https://www.viva64.com/ru/t/0077/> (дата обращения: 08.05.2018)
4. Изосимов А. В. *Метрическая оценка качества программ.* – URL: https://books.google.com.ua/books?id=IXijAAAACAAJ&dq=ISBN:5703500052&hl=ru&source=gbs_api (дата обращения: 08.05.2018)
5. Холстед М. *Начала науки о программах.* – URL: <http://library.univ.kiev.ua/ukr/elcat/new/detail.php3>. (дата обращения: 08.05.2018)
6. *Метрики ПО.* – URL: <http://www.metric.narod.ru/page1.htm?oprd=1> (дата обращения: 08.05.2018)
7. Звездин С. *Метрики как средство управления качеством.* – URL: <https://www.osp.ru/os/2009/08/10748698>. (дата обращения: 08.05.2018)
8. *Метрики структурной сложности программ.* – URL: <https://www.coursehero.com/>...>INFORM>INFORM100> (дата обращения: 08.05.2018)

9. Рыжков Е. *Программный код и его метрики*. – URL: <https://habrahabr.ru/company/intel/blog/106082> – (дата обращения: 08.05.2018)
10. Моисеев М. *Методы оценки надежности ПО*. – URL: kspt.icc.spbstu.ru/media/files/2010/course/softwarequality/lec2.pdf – (дата обращения: 08.05.2018)
11. *Надежность программного обеспечения*. – URL: moodle.dstu.edu.ru/mod/resource/view.php?id=20549 – (дата обращения: 08.05.2018)
12. Павленко Е. П., Айвазов В. А. Показатели и методика оценки надежности программного обеспечения информационных систем. *ScienceRise*. Харьков, 2017. № 5/2. С. 34–37.
6. *Метрики ПО*. [Software metrics] Available at: <http://www.metric-narod.ru/page1.htm?oprd=1> (accessed 08.05.2018).
7. Zvezdin S. *Метрики как средство управления качеством*. [Metrics as a means of quality management] Available at: <https://www.osp.ru/os/2009/08/10748698> (accessed 08.05.2018).
8. *Метрики структурной сложности программ*. [Metrics of structural complexity of programs] Available at: <https://www.coursehero.com/.../INFORM/INFORM100> (accessed 08.05.2018).
9. Ryzhkov Y. *Программный код и его метрики*. [The program code and its metrics] Available at: <https://habrahabr.ru/company/intel/blog/106082> (accessed 08.05.2018).
10. Moiseev M. *Методы оценки надежности ПО*. [Methods for evaluating software reliability] Available at: kspt.icc.spbstu.ru/media/files/2010/course/softwarequality/lec2.pdf (accessed 08.05.2018).
11. *Надежность программного обеспечения*. [Software Reliability] Available at: moodle.dstu.edu.ru/mod/resource/view.php?id=20549 (accessed 08.05.2018).
12. Pavlenko E. P., Ayvazov V. A. *Показатели и методика оценки надежности программного обеспечения информационных систем* [Indicators and methodology for assessing the reliability of information systems software]. *ScienceRise* [ScienceRise]. Kharkov, 2017, no. 5/2, pp. 34–37.

References (transliterated)

1. Boehm B., Brown J. *Kharakteristiki kachestva programmnogo obespecheniya*. [Software Quality Characteristics] Available at: <https://www.twirpx.com/file/1041051> (accessed 08.05.2018).
2. *Kachestvo programmnogo obespecheniya*. [Quality of software] Available at: <https://iiba.ru/software-quality> (accessed 08.05.2018).
3. *Kachestvo programmnogo obespecheniya*. [Quality of software] Available at: <https://www.viva64.com/ru/t/0077> (accessed 08.05.2018).
4. Izosimov A. V. *Metricheskaya otsenka kachestva programm*. [Metric evaluation of program quality] Available at: https://books.google.com.ua/books?id=IXijAAAACAAM&dq=ISBN:5703500052&hl=ru&source=gbs_api (accessed 08.05.2018)
5. Holsted M. *Nachala nauki o programmakh*. [The beginning of the science of programs] Available at: library.univ.kiev.ua/ukr/elcat/new/detail.php3 (accessed 08.05.2018)

Поступила (received) 14.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Павленко Євген Петрович (Павленко Евгений Петрович, Pavlenko Yevhen Petrovych) – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри інформаційних управляючих систем; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7626-9933>; e-mail: evgenijpavlenko821@gmail.com

Лубенець Сергій Васильович (Лубенец Сергей Васильевич, Lubenec Sergej Vasil'evich) – кандидат технічних наук, доцент, Харківська державна академія культури, доцент кафедри журналістики; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1061-8763>; e-mail: S.Lubenec@ukr.net

Айвазов Віталій Артемович (Айвазов Виталий Артемович, Ayvazov Vitalij Artemovich) – Харківський національний університет радіоелектроніки, старший викладач кафедри охорони праці; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/000-0002-4265-1675>; e-mail: vitaliy.ayvazov@nure.ua