

А. А. Андрашов¹, А. А. Гордеев², А. А. Коваленко³, В. С. Харченко⁴

¹ Научно-производственное предприятие «РАДИКС», Кропивницкий, Украина

² Университет банковского дела, Киев, Украина

³ Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина

⁴ Национальный аэрокосмический университет «ХАИ», Харьков, Украина

МЕТРИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ВЫПОЛНЕНИЕМ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИУС АЭС ДЛЯ V-ОБРАЗНОЙ МОДЕЛИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Рассматривается подход к метрическому оцениванию управления выполнением требований к программному обеспечению (ПО) информационно-управляющих систем (ИУС) атомных электростанций (АЭС) в соответствии с V-образной моделью жизненного цикла разработки ПО. Предлагается ряд метрик оценивания выполнения требований, которые могут быть использованы для управления требованиями. Приведен расчет предлагаемых метрик для реальных примеров оценивания управления требованиями к функциональной безопасности. Предложенный подход позволяет описать наилучшие варианты распределения требований по этапам модели ЖЦ, определить точки возврата в жизненном цикле для каждого из требований, а также вариантов его невыполнения. Это, в свою очередь, позволяет управлять выполнением требований, в частности, определять различные сценарии возврата (влияющие на полную проверку) и виды соответствующих корректирующих воздействий с целью снижения проектных затрат. Предложенный набор метрик является частью инструментария для проверки выполнения требований к функциональной безопасности и был использован при выполнении проекта лицензирования платформы RadICS на соответствие требованиям стандарта IEC61508/SIL3.

Ключевые слова: требования, ПО, метрический подход, оценивание выполнения требований.

Введение

Требования, представленные в техническом задании к любой из систем, должны выполняться, а их выполнение – подтверждаться процедурами формальной верификации и валидации. Например, в соответствии с V-образной моделью жизненного цикла (ЖЦ), выполнение и верификация требований распределяется в соответствии с этапами ЖЦ ПО [1]. Однако, требования не всегда могут быть выполнены и/или своевременно проверены на необходимом этапе ЖЦ ПО. Это может быть обусловлено недостаточным качеством самого технического задания, несоответствующим контролем при выполнении проекта, человеческим фактором и др. Реализация или верификация таких требований на более поздних этапах ЖЦ ПО могут приводить к дополнительным расходам проектных ресурсов, поскольку разработчикам приходится вносить изменения в текущий проект и возвращаться на более ранние этапы, частично либо полностью нивелируя при этом результаты на текущих этапах разработки.

Если же требования выполняются и верифицируются в соответствии с необходимыми этапами, то экономия ресурсов в рамках проекта разработки может быть получена за счет минимизации затрат на переработку и дополнительную верификацию.

Анализ публикаций, посвященных управлению выполнением требований ПО и их метрического оценивания показал, что в известных работах [2-4] детально не рассматриваются варианты верификации требований на более ранних этапах. Описание метрик для оценивания выполнения требований приведено в

[5], однако, метрики учета экономии проектных ресурсов вследствие более ранней (своевременной) верификации отсутствуют. Поэтому **целью статьи является** представление вариантов выполнения и верификации требований, а также описание метрик управления выполнения требований к ПО ИУС АЭС. Она базируется также на расширенных вариантах представления V-образной модели, в частности, модели жизненного цикла функциональной безопасности [6, 7].

Декомпозиция требований на V-образную модель ЖЦ

Требования, представленные в виде таксономической структуры [8], предлагается проецировать на этапы, образующие модель жизненного цикла. Например, они могут декомпозироваться в рамках V-образной модели жизненного цикла в зависимости от этапа на левую или правую ее ветви (рис. 1). Декомпозированные таким образом требования должны проходить процедуру верификации, т.е. подтверждения их выполнения. Верификация требований на более ранних этапах снижает затраты на изменения в разрабатываемом проекте в случае их невыполнения. Представим возможные «точки-этапы» верификации требований в рамках V-образной модели:

– «точка», в которой требование должно проверяться; для ее обозначения вводится термин «точка необходимой верификации – ТНР»;

– «точка», в которой требование проверяется; это применимо для проекта, когда процесс верификации требований является неуправляемым; для ее обозначения вводится термин «точка реальной верификации – ТРВ»;

– «точка», в которой верификация может проводиться или проводиться на более раннем этапе, чем в том, в котором оно должно проверяться; для ее обозначения вводится термин «точка более ранней верификации – ТБРВ».

Рассмотрим пример, который графически отображает варианты «точек» верификации требований (рис. 1). Для более точного представления варианты точек верификации введем условные обозначения, которые представлены в табл. 1. Рис. 1 иллюстрирует расстановку таксонов, входящих в состав таксономических структур по этапам V-образной модели ЖЦ. Таксоны распределяются по этапам ЖЦ и компонентам ПО следующим образом:

$T_{1.1} \rightarrow \mathcal{E}_{12}K_4, T_{1.2} \rightarrow \mathcal{E}_{21}K_1, T_{1.3} \rightarrow \mathcal{E}_{11}K_1, T_{1.2.1} \rightarrow \mathcal{E}_{31}K_1,$
 $T_{1.2.2} \rightarrow \mathcal{E}_{32}K_3, T_{2.1} \rightarrow \mathcal{E}_{42}K_1, T_{2.2} \rightarrow \mathcal{E}_{33}K_4, T_{2.3} \rightarrow \mathcal{E}_{33}K_2,$
 $T_{2.1.1} \rightarrow \mathcal{E}_{52}K_6, T_{2.1.2} \rightarrow \mathcal{E}_{41}K_5, T_{3.1} \rightarrow \mathcal{E}_{51}P_5, T_{3.2} \rightarrow \mathcal{E}_{54}K_2.$

Далее рассмотрим формирование множеств типов «точек» верификации требований, элементами которых будут пара «этапы-компоненты»:

– к множеству точек необходимой верификации относят: $TNB = \{\mathcal{E}_{12}K_4, \mathcal{E}_{21}K_1, \mathcal{E}_{11}K_1, \mathcal{E}_{31}K_1, \mathcal{E}_{32}K_3, \mathcal{E}_{42}K_1, \mathcal{E}_{33}K_4, \mathcal{E}_{33}K_2, \mathcal{E}_{52}K_6, \mathcal{E}_{41}K_5, \mathcal{E}_{51}P_5, \mathcal{E}_{54}K_2\};$

– к множеству точек реальной верификации относят следующие: $TRV = \{\mathcal{E}_{52}K_6, \mathcal{E}_{42}P_5\};$

– к множеству точек реальной верификации относят следующие: $TRV = \{\mathcal{E}_{42}K_2, \mathcal{E}_{21}K_4, \mathcal{E}_{22}K_5, \mathcal{E}_{32}K_6, \mathcal{E}_{23}P_5\}.$

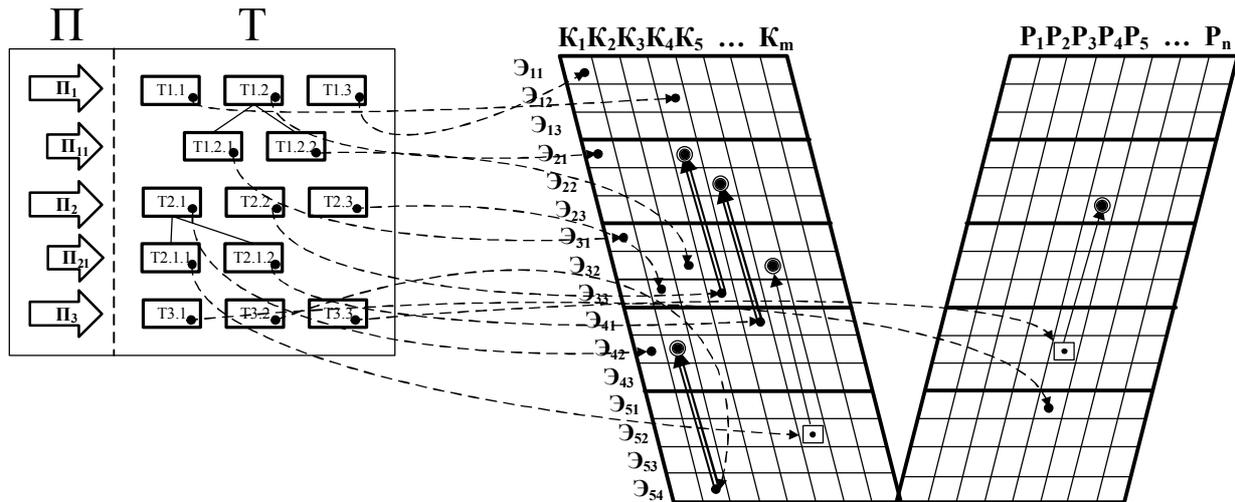


Рис. 1. Декомпозиция требований, представленных таксономической структурой, и их проецирование на V-образную модель ЖЦ

Таблица 1 – Условные обозначения для точек верификации, переходов и проекции требований

№	Обозначение	Описание
1	●	Требование
2	◻	Подэтап, на котором требование будет проверено при неуправляемой проверке
3	⊙	Подэтап возврата при управляемой проверке
4	→	Возврат при управляемой проверке требований
5	→	Возврат при неуправляемой проверке требований
6	- - - →	Взаимосвязь между требованиями из таксономической структуры и этапом V-образной модели ЖЦ (соответствие требования этапу и компоненту)
7	Π_x	Классификационные признаки
8	T_x	Таксоны
9	\mathcal{E}_x	Этапы ЖЦ ПО
10	K_x, P_x	Компоненты (либо их группы) ПО, которым адресовано требование

Метрики оценивания и управления требованиями

Проверка выполнения требований на более ранних этапах жизненного цикла ПО обеспечивает экономию проектных ресурсов. Чтобы оценить такую экономию, прежде всего необходимы количественные метрики. В качестве основных метрик, которые могут использоваться в процессах оценки и управления требованиями ПО ИУС АЭС можно предложить такие:

1) метрика доли проверенных требований (полнота проверки), которая равна отношению числа проверенных требований к общему числу требований:

$$MetCR = DR / GR; \quad (1)$$

2) метрика доли проверенных требований к завершению определенного этапа Ei , которая равна отношению числа требований, проверенных к завершению этапа Ei , к общему числу требований, которые должны быть проверены к завершению этапа Ei :

$$MetCREi = DREi / GDREi; \quad (2)$$

3) метрика доли требований, которые должны быть выполнены к завершению этапа Ei , равная отношению числа требований, которые должны быть выполнены к завершению этапа Ei , к общему числу:

$$MetREi = REi / GREi; \quad (3)$$

4) метрика возврата при невыполнении требований на этапе Ei , которая равна отношению числа эта-

пов/подэтапов, на которое должен быть произведен возврат при невыполнении требования на этапе/подэтапе Ei к номеру этапа/подэтапа Ei :

$$MetRREi = NREi / NEi; \quad (4)$$

5) метрика суммарного максимального возврата, которая равна отношению суммы метрик возврата по всем требованиям к общему числу требований:

$$MetGRR = MetRRE1 + MetRRE2 + \dots + MetRREn / GR; \quad (5)$$

6) метрика снижения затрат при своевременной проверке требования Req_i на этапе E_j , которая равна отношению разницы в затратах при своевременной и более поздней проверках выполнения требования Req_i к затратам на выполнение требования при несвоевременной проверке:

$$MetRSRi = \Delta Ci / Cni; \quad (6)$$

7) метрика снижения затрат при своевременной проверке всех требований:

$$MetRSR = (\Delta C1 + \Delta C2 + \dots + \Delta CGR) / (Cn1 + Cn2 + \dots + CnGR). \quad (7)$$

Расчет метрик управления выполнением требований

Прежде всего, удобно детализировать процесс экономии ресурсов в общем виде. Для этого назначим каждому этапу жизненного цикла условные стоимостные количественные значения (рис. 2, 3). На рис. 3 они обозначены Ci . Более позднему этапу присваивается большее значение (Ci), таким образом для этапа \mathcal{E}_{41} $C_{41}=10$, для этапа \mathcal{E}_{23} $C_{23}=6$, для этапа \mathcal{E}_{13} $C_{23}=3$. Стои-

мостные значения определяются объемом (количеством) ресурсов. Будем считать, что присвоенные значения являются условными абсолютными значениями. Рассмотрим случай, когда точка реальной верификации переходит в точку более ранней верификации, то есть проверка требования перемещается из \mathcal{E}_{41} в \mathcal{E}_{13} (рис. 2).

Далее по формуле (8) рассчитаем первую метрику снижения затрат при своевременной проверке требования ($MetRSR_1$), а далее вторую метрику снижения затрат при своевременной проверке требования (9) ($MetRSR_2$) и, в заключение, посчитаем разницу между значениями первой и второй метриками по формуле (10):

$$MetRSR_{1\mathcal{E}_i} = \frac{C_{max} - C_{min}}{C_{max}}; \quad (8)$$

$$MetRSR_{2\mathcal{E}_i} = \frac{C_i - C_{min}}{C_{max}}; \quad (9)$$

$$\Delta MetRSR_{\mathcal{E}_i} = MetRSR_{1\mathcal{E}_i} - MetRSR_{2\mathcal{E}_i}; \quad (10)$$

$$MetRSR_{123} = \frac{10-3}{10} = 0,7; \quad MetRSR_{223} = \frac{6-3}{10} = 0,3;$$

$$\Delta MetRSR_{23} = 0,7 - 0,3 = 0,4.$$

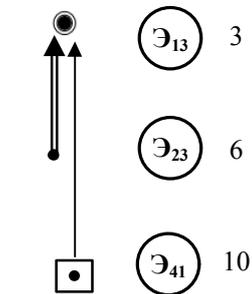


Рис. 2. Переход точек необходимой и реальной верификации в точку более ранней верификации

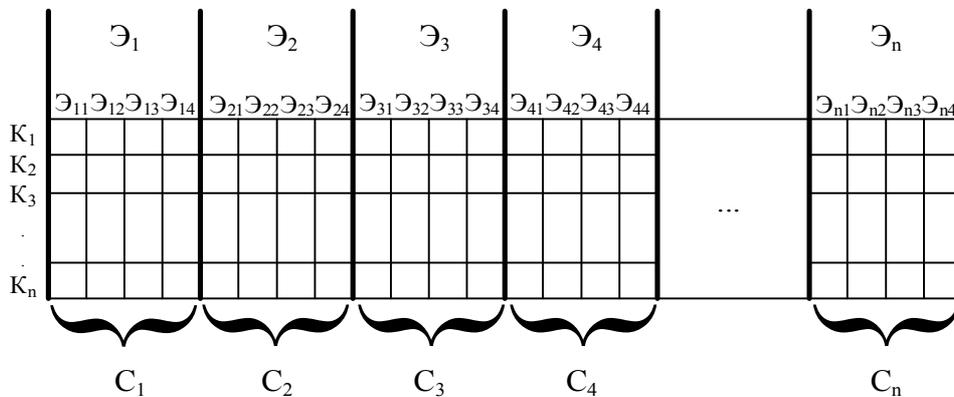


Рис. 3. Стоимостные обозначения для этапов

Таким образом, экономия в случае перехода точки реальной верификации в точку необходимой верификации составляет 0,4. Рассмотрим частный случай проекта разработки. В таблице 2 представлен фрагмент спецификации требований проекта по разработке ИУС АЭС [9].

Таблица 2 – Фрагмент спецификации требований

Requirement	Verification stage
The worst-case response time for a change of state of a contact input signal through the complete system to the completion of change of state of a contact output shall be 10 ms or less	Validation Testing

Ниже приведены результаты расчета двух метрик для такого фрагмента.

Метрика снижения затрат при своевременной проверке требований, на этапе 12 (Integration Testing) вместо 13 (Validation Testing).

$$MetRSR_{12} = (230 - 200) / 230 = 0,13.$$

Метрика возврата при невыполнении требований на этапе 13 (Validation Testing):

$$MetRRE_{13} = (13-1) / 13 = 0,923.$$

Выводы

В статье предложена процедура метрического оценивания выполнения требований ПО ИУС АЭС

на прикладі V-образної моделі життєвого циклу. Такий процес дозволяє описати найкращі варіанти розподілення вимог по етапам моделі ЖЦ, визначити точки повернення в життєвому циклі для кожного з вимог, а також варіантів його невиконання.

Це, в свою чергу, дозволяє управляти виконанням вимог, в частині, визначати різні сценарії повернення (впливаючі на повно-

ту перевірок) і види відповідних коректуючих впливів з метою зниження проектних витрат.

Представлений набір метрик є частиною інструментарію для перевірки виконання вимог до функціональної безпеки і був використаний при виконанні проекту ліцензування платформи RadICS на відповідність вимогам стандарту IEC61508/SIL3 [6].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ISO/IEC/IEEE 29148, Systems and software engineering - Life cycle processes - Requirements engineering, 2011.
2. Shuichiro Yamamoto. An Evaluation of Requirements Specification Capability Index. 20th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems, KES2017, Procedia Computer Science, 2017, 998–1006 pp.
3. Pohl, K., Requirements Engineering – Fundamentals, Principles, and Techniques, Springer, 2010, 813 pp.
4. Leffingwell, D. and Widrig, D., Managing Software Requirements: A Unified Approach (The Addison-Wesley Object Technology Series) -Wesley Professional, 1999, 528 pp.
5. Adnane Ghannem, Mohamed Salah Hamdi, Marouane Kessentini, Hany H. Ammar. Search-based requirements traceability recovery: A multi-objective approach, Proc. IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2017, p. 1183-1190.
6. IEC 61508-1:2010 Ed.2. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems, 2010, pp. 127.
7. Vyacheslav Kharchenko, Andriy Kovalenko, Anton Andrashov, Oleksandr Siora. V-Models of Safety Critical System Life Cycle: Classification and Application, Proceeding of 9th International IEEE Conference “DEpendable Systems, SERvices and Technologies” (DESSERT’2018). – Kyiv, Ukraine. – May 24-27, 2018. – Pp. 2-6.
8. Vyacheslav Kharchenko, Oleksandr Gordieiev, Alina Fedoseeva. Profiling of Software Requirements for the Pharmaceutical Enterprise Manufacturing Execution System, Applications of Computational Intelligence in Biomedical Technology, Springer, Cham, 2016, p. 67-92.
9. Sea Ice Climate Change Initiative: Phase 2. D3.1 Safety Requirements Specification document, 2016, 211 pp.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. А. Краснобаєв,
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків

Received (Надійшла) 12.19.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 09.01.2019

Метричне оцінювання управління виконанням вимог до програмного забезпечення ІУС АЕС для V-образної моделі життєвого циклу

А. О. Андрашов, О. О. Гордєєв, А. А. Коваленко, В. С. Харченко

Розглядається підхід до метричного оцінювання виконанням вимог програмного забезпечення (ПЗ) інформаційно-керуючих систем (ІКС) атомних електростанцій (АЕС) відповідно до V-подібної моделі життєвого циклу розробки ПЗ. Пропонується ряд метрик оцінювання виконання вимог, що можуть бути використані для управління вимогами. Наведено розрахунок запропонованих метрик для реальних прикладів оцінювання управління вимогами до функціональної безпеки. Запропонований похід дозволяє описати найкращі варіанти розподілу вимог по етапах моделі ЖЦ, визначити точки повернення в життєвому циклі для кожного з вимог, а також варіантів його невиконання. Це, в свою чергу, дозволяє управляти виконанням вимог, зокрема, визначити різні сценарії повернення (що впливають на повноту перевірок) і види відповідних коригуючих впливів з метою зниження проектних витрат. Запропонований набір метрик є частиною інструментарію для перевірки виконання вимог до функціональної безпеки і був використаний при виконанні проекту ліцензування платформи RadICS на відповідність вимогам стандарту IEC61508 / SIL3.

Ключові слова: вимоги, ПЗ, метричний підхід, оцінювання виконання вимог.

Metric evaluation of management of meeting the requirements for NPP I&C software within the V-shaped model of the life cycle

A. Andrashov, A. Gordieiev, A. Kovalenko, V. Kharchenko

An approach to metric assessment of meeting the requirements for Nuclear Power Plant (NPP) Instrumentation and Control System (I&CS) software in accordance with the V-shaped model of the software development life cycle is considered. A number of metrics for evaluating compliance are proposed; such metrics can be used in requirements management. The calculation of the proposed metrics is presented for real examples of evaluating the management of functional safety requirements. The proposed approach allows you to describe the best options for the distribution of requirements by stages of the life cycle model, to determine the return point in the life cycle for each of the requirements, as well as options for its non-fulfillment. This, in turn, allows you to manage the fulfillment of requirements, in particular, to determine various return scenarios (affecting the completeness of checks) and the types of appropriate corrective actions in order to reduce project costs. The proposed set of metrics is part of the toolkit to verify compliance with functional safety requirements and was used in the implementation of the RadICS platform licensing project for compliance with the requirements of the IEC61508 / SIL3 standard.

Keywords: requirements, software, metric approach, requirements evaluation.