

Telekommunikatsii: teorija i tehnologii (TTT-2020): Sbornik trudov XXII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferentsii, 2020, pp. 250–251. (In Russ.)

6. Vasin N.N., Alennikov E.M., Subbotkaja A.Yu. *Modeling Virtual Private Networks. Methodical Instructions for Performing Laboratory Work*. Samara: PGUTI, 2020, 30 p. URL: http://eclib.psuti.ru/cgi-bin/irbis64r_12/cgiirbis_64.exe (accessed: 12.05.2021). (In Russ.)
7. What is 3DES encryption and how does DES work? URL: <https://heritage-offshore.com/informacionnoj-bezopasnosti/chto-takoe-shifrovanie-3des-i-kak-rabotaet-des> (accessed: 13.05.2021). (In Russ.)
8. FileZilla is a free FTP client. URL: <https://www.filezilla.ru> (accessed: 14.05.2021). (In Russ.)
9. Wireshark official site. URL: <https://www.wireshark.org> (accessed: 14.05.2021).
10. Cisco Small Business RV Series Routers. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/routers/small-business-rv-series-routers/series.html> (accessed: 17.05.2021).

Received 31.05.2021

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И СИГНАЛОВ

УДК 004.75

МЕТОД ОЦЕНКИ РЕСУРСОЕМКОСТИ РЕКОНФИГУРАЦИИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТРЕБОВАНИЙ НАЗНАЧЕНИЯ

Логинов И.В.

Академия ФСО России, Орел, РФ

E-mail: loginov_iv@bk.ru

Увеличение структурной и функциональной сложности инфокоммуникационных систем в результате научно-технического прогресса привело к формированию многофункциональных систем. Для таких систем в современных условиях характерно наличие динамики требований и реконфигурации под эти изменения. Непрерывная реконфигурация требует в процессе планирования выполнения оценок необходимых ресурсов. Целью исследования является разработка подхода к оцениванию ресурсоемкости реализации изменения требований назначения при неполноте описания реконфигурируемой инфокоммуникационной системы. Основная идея работы заключается в формировании оценок ресурсоемкости реконфигурации на основе значений коэффициента изменения требований. Оценка выполняется на основе имеющихся данных о выполнении частных показателей системы требований – существующими функциональными компонентами с известными значениями ресурсоемкости. При этом вводятся поправочные коэффициенты, зависящие от вида изменения требований и типа ресурса, уточняемые в процессе изменения многофункциональной системы по критерию минимума ошибки оценивания. Практическая значимость работы заключается в разработке методики приближенного оценивания ресурсоемкости на основе нечеткого подхода с целью учета неопределенности исходных данных описания инфокоммуникационной системы.

Ключевые слова: *требования назначения, функциональная динамика, многофункциональные системы, инфокоммуникационные услуги, реконфигурация, неопределенность состояния*

Введение

Развитие инфокоммуникационных систем привело к существенному увеличению их структурной и функциональной сложности. Количество телекоммуникационных услуг, предоставляемых абонентам, значительно увеличивается. Изменение технических возможностей по предоставлению портфеля инфокоммуникационных услуг, с одной стороны, а предпочтения абонентов в получении современных сервисов, с другой стороны, определяют изменения требований

назначения мультисервисных инфокоммуникационных систем. Основными причинами изменения требований назначения из-за внешних условий являются [1; 2]:

- внешние условия по отношению к организации-заказчику (требования рынка и регуляторов);
- изменение самой организации (организационно-штатные и нормативные изменения);
- возможности и ограничения поставщика инфокоммуникационных услуг (влияние технических и технологических решений и ограничений).

Изменение требований приводит к необходимости реконфигурации многофункциональной инфокоммуникационной системы на основе процесса непрерывного улучшения [3]. Анализ отдельных инфокоммуникационных систем показывает, что для них характерно значение коэффициента динамики требований назначения на уровне 0,10–0,35 в год. Выполнение мероприятий реконфигурации требует ресурсного обеспечения. В рамках планирования развития системы необходимо оценивать потребности в ресурсах всех видов, необходимых на модернизацию системы.

Известные подходы к оценке ресурсоемкости развития многофункциональных систем требуют разработки проектов модернизации (эскизных или технических предложений), предполагающих длительную и трудоемкую работу. При принятии решений на развитие многофункциональной системы целесообразны приближенные оценки потребных ресурсов в зависимости от величины изменения требований. Отсутствие решения проблемы оценки ресурсоемкости реконфигурации при неполноте описания системы определяет актуальность разработки метода оценки ресурсоемкости изменения требований назначения реконфигурируемых инфокоммуникационных систем.

Постановка задачи

Задача оценивания динамики требований назначения имеет следующую постановку:

Рассматривается сервис-ориентированная модель многофункциональной инфокоммуникационной системы, в рамках которой она может быть представлена в виде множества функциональных компонентов [4]: $S = \{s_i\}$, $i = 1..n$. К многофункциональной системе относят систему функциональных требований QR_{ϕ} . Под воздействием внешних факторов требования назначения изменяются: $QR_{\phi} \xrightarrow{y} QR_{\phi,n}$. Изменение системы требований приводит к снижению уровня пригодности системы K_r . Изменение системы реализуется набором мероприятий модернизации: $M : S \xrightarrow{M(QR_{\phi,n})} S_n$. На реконфигурацию многофункциональной системы затрачиваются ресурсы времени, материалов (денежные) и труда: $R = \langle r_t, r_m, r_l \rangle$.

Требуется: разработать механизм оценивания ресурсоемкости модернизации системы $A : \hat{R} = A(QR(t))$ при изменении требований назначения многофункциональной системы.

Обзор подходов к оцениванию ресурсоемкости реконфигурации инфокоммуникационных систем

Вопросы оценивания ресурсоемкости модернизации и реконфигурации инфокоммуникационных систем широко рассматриваются с позиций калькуляции оценок совокупных затрат по всем отдельным проектам модернизации (по каждому функциональному компоненту).

По каждому проекту модернизации по всем видам ресурсов оценка может быть выполнена на основе метода нормативов. Для этих целей могут быть применены государственные элементарные сметные нормы. Однако их применение требует значительной проработки проекта. При отсутствии полного проекта применяются методики оценивания на основе наиболее важных показателей проекта. Среди таких методик могут быть рассмотрены: COCOMO (COConstructive COst MOdel), SLIM (Software Lifecycle Management), PERT (Project evaluation and Review Technique), COSYSMO (COConstructive SYStem engineering cost MOdel), SEER SEM (SEER for Software), IFPUG FPA (International Function Point Users Group Function Point Analysis), MkII FPA (Mk II Function Point Analysis) [5; 6]. Исходные идеи указанных методик учитывают размер проекта, квалификацию исполнителей и сложившуюся в организации ресурсоемкость выполнения отдельных операций. Учет особенностей реализации проекта модернизации обеспечивается применением нечетких данных [7]: использование лингвистических переменных с переводом в поправочные коэффициенты регрессионных уравнений; нечеткие множества [8], с использованием которых описываются значения исходных параметров; а также нечетко-интервальные описания представления итоговых оценок ресурсоемкости [9].

Задача получения априорных оценок ресурсоемкости реконфигурации инфокоммуникационных систем имеет общий подход с задачей оценивания ресурсоемкости реализации НИОКР, для которых известны методики нечеткого экспертного оценивания [10], параметрического оценивания на основе аналога [11]. При этом в параметрических моделях в качестве исходного объекта может рассматриваться как проект-аналог, так и результат реализации проекта (модернизированная инфокоммуникационная система). Задача оценивания решается как применительно к полной ресурсоемкости, так и по ее отдельным составляющим (трудоемкости, материалоемкости и оперативности). В [12] определена параметри-

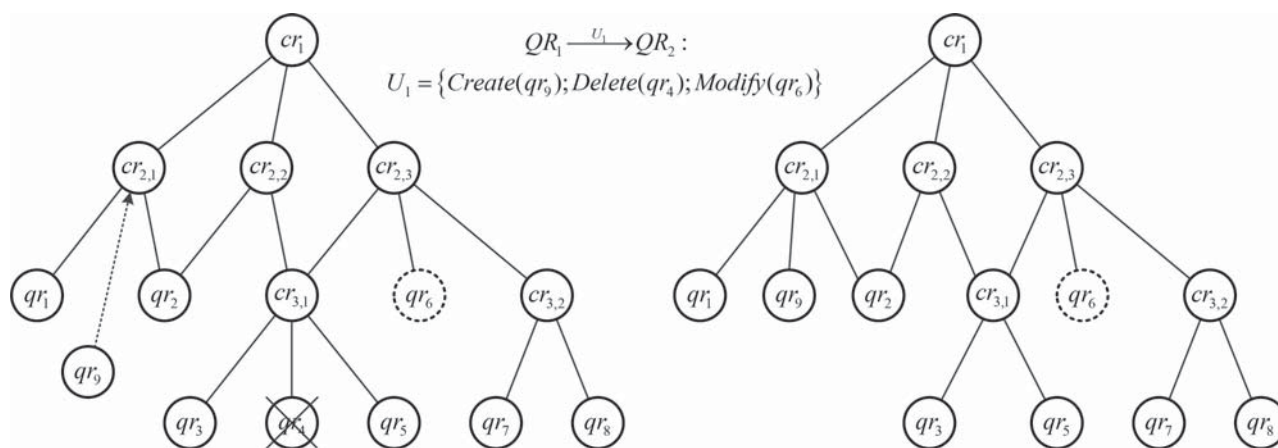


Рисунок 1. Преобразование системы требований

ческая модель трудоемкости программного продукта на основе анализа сложности разрабатываемого объекта, учитывающая его структурную и функциональную сложность. В [13] определена многопараметрическая модель расчета трудоемкости разработки программного обеспечения на основе аналога с использованием 8 поправочных коэффициентов (по каждому из которых определены возможные значения). Апостериорные оценки получают с использованием статистических методов, которые позволяют рассчитывать фактическую потребность в ресурсах на реализацию ИТ-системы [14; 15].

Отмечается необходимость в рамках выполнения процесса управления требованиями и их изменениями для снижения перепроектирования многофункциональных систем в процессе ее разработки из-за нечеткости описаний [16]. Оценка ресурсов на внесение изменений в систему выполняется на основе трассировки системы требований, отмечается необходимость оптимизации портфеля услуг – выполнения текущей системы требований на основе многопараметрической оценки пригодности [17]. Анализ известных методов показывает, что данные методы оценивания ресурсоемкости реконфигурации требуют наличия значительного уровня проработки проекта. Таким образом, вопрос априорного оценивания изменения требует проработки применительно к инфокоммуникационным системам.

Модель изменения требований назначения

Описание системы требований в соответствии с целеориентированным подходом может быть выполнено с использованием методологий NFR Framework, i*/Tropos, KAOS methodology и Goal-Based Requirements Analysis Method [18; 19]. Система требований QR_ϕ к многофункциональной

системе в заданный момент времени может быть представлена иерархией над частными требованиями:

$$QR_\phi = \langle CR \cup \{qr\}, E \rangle, \quad (1)$$

где CR – набор комплексных требований назначения; $\{qr\}$ – множество функциональных требований назначения; E – отношения (зависимости) между требованиями. При этом $E = \{CR \cup \{qr\}\} \times \{qr\} = \{e\}$, e – отношения зависимости между двумя требованиями, множество листьев совпадает с $\{qr\}$.

В соответствии с [20; 21] изменение требований реализуется путем следующих базовых операций:

$$U_{QR} = \langle Create, Delete, Modify \rangle, \quad (2)$$

- операция создать (добавить) требование $Create(qr_{N+1})$ реализует добавление нового требования к системе требований назначения;
- операция удалить требование $Delete(qr_i)$ реализует удаление существующего требования;
- операция изменить (модифицировать) требование $Modify(qr_i)$ реализует изменение требования.

В соответствии с [21] наличие взаимосвязей по входам и выходам между требованиями приводит к необходимости добавления, удаления и модификации связей между требованиями. В общем случае это приводит к 8 типам операций изменения требований.

Исходя из практики, изменение системы требований реализуется итеративно, таким образом, за один цикл изменения реализуется несколько управляющих воздействий преобразования системы требований: $U = \{u\}$ (рисунок 1).

$$QR_i \xrightarrow{U_i} QR_{i+1}. \quad (3)$$

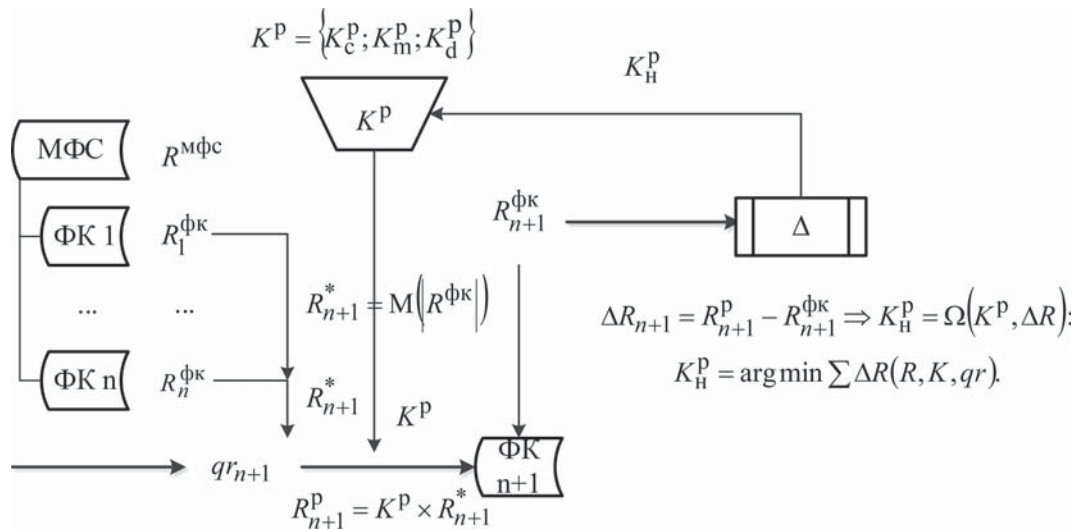


Рисунок 2. Общая схема оценки ресурсоемкости реализации изменения требований

Оценка ресурсоемкости реализации изменения требований с использованием нечетких методов

Следует отметить, что необходимость оценки интенсивности изменения требований заключается в возможности получения оценок ресурсов, необходимых на сопровождение таких изменений. Возможно оценивать количество ресурсов \hat{R} , необходимых на развитие многофункциональных систем. В общем случае предполагается, что оценку ресурсоемкости процесса развития можно выполнить на основе значения показателя интенсивности изменения требований. При предположении о линейной зависимости ресурсоемкости и важности функционального компонента могут быть получены следующие оценки:

Приближенная оценка ресурсоемкости:

$$R^{np} = \upsilon R^{мфс}, \quad (4)$$

где $R^{мфс}$ – ресурсоемкость развёртывания многофункциональной системы; υ – показатель интенсивности изменения требований назначения.

$$\upsilon = \frac{\Delta QR}{\Delta T}, \quad \Delta QR = \upsilon = \sum_{i=1}^n v_i, \quad (5)$$

где ΔQR – совокупные изменения системы требований за промежуток времени ΔT ; v_i – коэффициент изменения требований на i -м такте.

Уточненная оценка ресурсоемкости:

$$R^y = \sum_{i=1}^N k_i(u_i) R_i, \quad (6)$$

где R_i – ресурсоемкость развёртывания функционального компонента, реализующего соответствующую функцию (при добавлении нового функционального компонента используется метод аналога); k_i – коэффициент изменения ре-

сурсоемкости в зависимости от вида изменения требования.

В общем случае расчет оценки по выражению (6) связан с некоторыми неточностями в связи с изменением ресурсоемкости от вида изменения требований u_i .

Анализ многофункциональных инфокоммуникационных систем показывает, что вид изменения требований в среднем оказывает различное влияние на сложность реализации функциональных возможностей многофункциональной системы. Наибольшее влияние оказывает добавление нового требования: коэффициент изменения ресурсоемкости варьируется от 0,8 до 1,3 (меньшее значение коэффициента возможно за счет внедрения новых технологий, а большее значение за счет единичности работ). Удаление требований существенно зависит от области приложения системы: для программных инфокоммуникационных систем оно близко к нулю, а для сложных организационно-технических может составлять до 0,3, что связано с расформированием обеспечивающей системы. Изменение требований оказывает промежуточный вклад в ресурсоемкость.

Подход к оценке ресурсоемкости реализации изменения требований с использованием нечетких методов

Учет неточности описания характеристик многофункциональных инфокоммуникационных систем может быть реализован путем использования нечетких оценок ресурсоемкости. В качестве таковых в работе рассматриваются интервальный метод и нечеткие треугольные числа.

В рамках одной многофункциональной системы оцениваемый процесс изменения функционального компонента может отличаться от анало-

Таблица 1. Значения поправочного коэффициента при интервальном представлении оценок ресурсоемкости

Лингв. оценка	Оператор изменения требования		
	Добавление	Изменение	Удаление
Обыч.	[0,7;1,0]	[0,0;0,4]	[0,0;0,1]
Выс.	[0,9;1,1]	[0,2;0,6]	[0,0;0,2]
Знач.	[1,0;1,3]	[0,4;0,8]	[0,0;0,3]

га (исходного компонента) новизной, сложностью реализации и научно-техническим уровнем. Определение оценок ресурсоемкости предполагает экспертное определение отличий от проекта аналога в форме лингвистических оценок:

$$\Psi = \{ \Psi_{\text{нов}}, \Psi_{\text{слож}}, \Psi_{\text{кач}} \}, \quad (7)$$

где $\Psi_{\text{нов}}$ – оценка уровня новизны функционального компонента; $\Psi_{\text{слож}}$ – оценка уровня сложности; $\Psi_{\text{кач}}$ – оценка научно-технического уровня. Значения факторов задаются для многофункциональной системы на основе ретроспективного анализа (рисунок 2) и уточняются на каждом шаге цикла принятия решений.

Оценка ресурсоемкости реконфигурации, таким образом, может быть выполнена путем умножения частных оценок ресурсоемкости проекта аналога (на основе функционального требования) на соответствующие поправочные коэффициенты, отражающие влияние соответствующих факторов:

$$R_i^p = K^p \times R_i^*, \quad (8)$$

где R_i^* – оценка ресурсоемкости создания функционального компонента – аналога; $K^p = k_{\text{слож}} \times k_{\text{нов}} \times k_{\text{кач}}$ – поправочный коэффициент, рассчитываемый на основе значения факторов.

Совокупная уточненная оценка ресурсоемкости рассчитывается по формуле:

$$R^p = \sum_i R_i^p = \sum_i K^p \times R_i^*. \quad (9)$$

При этом значения поправочного коэффициента рассчитываются отдельно по классам операций изменения требований назначения:

$$K^p = \{ K_c^p; K_m^p; K_d^p \},$$

где K_c^p , K_m^p , K_d^p – поправочные коэффициенты при оценке ресурсоемкости в задачах создания, модификации и удаления требований назначения.

На каждом шаге управления изменениями требований назначения выполняется уточнение поправочных коэффициентов с целью минимизации ошибки оценивания ресурсоемкости внесения изменений:

$$K_n^p = \arg \min \sum \Delta R(R, K, qr); \quad (10)$$

$$\Delta R_{n+1} = R_{n+1}^p - R_{n+1}^{\text{фк}} \Rightarrow K_n^p = \Omega(K^p, \Delta R).$$

Таблица 2. Значения поправочного коэффициента при представлении оценок ресурсоемкости в форме нечетких треугольных чисел

Лингв. оценка	Оператор изменения требования		
	Добавление	Изменение	Удаление
Обыч.	<0,9;0,2;0,2>	<0,2;0,2;0,2>	<0,0;0,0;0,1>
Выс.	<1,0;0,3;0,2>	<0,4;0,2;0,2>	<0,0;0,0;0,2>
Знач.	<1,1;0,2;0,2>	<0,6;0,2;0,2>	<0,1;0,1;0,2>

Использование интервального метода для оценивания ресурсоемкости

Каждый поправочный коэффициент при использовании интервального метода задается интервалом K^p : $k = [k_{\text{min}}, k_{\text{max}}]$. Значение ресурсоемкости функционального компонента аналога может быть также задано в интервальной форме.

Для расчета значений ресурсоемкости в соответствии с выражениями (8) и (9) заданы операции сложения:

$$k_1 + k_2 = [k_{1,\text{min}} + k_{2,\text{min}}, k_{1,\text{max}} + k_{2,\text{max}}],$$

умножения:

$$k_1 \times k_2 = [k_{1,\text{min}} \times k_{2,\text{min}}, k_{1,\text{max}} \times k_{2,\text{max}}].$$

Значения поправочного коэффициента задаются путем присвоения лингвистической оценки влияния изменения функционального требования. Введено три лингвистических оценки, устанавливающих различия в комплексном уровне (7) сложности, качества и новизны функционального требования.

Использование нечетких треугольных чисел для оценивания ресурсоемкости

При применении нечетких треугольных чисел каждый поправочный коэффициент задается нечетким треугольным числом: $k = \langle a, \alpha, \beta \rangle$.

Для расчета значений ресурсоемкости в соответствии с выражениями (8) и (9) заданы операции сложения [22]:

$$k_1 + k_2 = \langle a_1 + a_2, \alpha_1 + \alpha_2, \beta_1 + \beta_2 \rangle,$$

умножения:

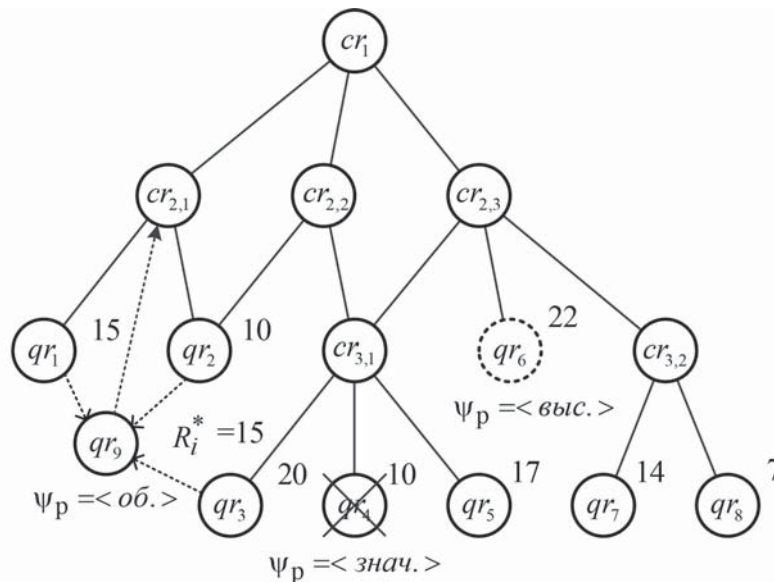
$$k_1 \times k_2 = \langle a_1 \times a_2, a_2 \alpha_1 + a_1 \alpha_2, a_2 \beta_1 + a_1 \beta_2 \rangle,$$

дефаззификации:

$$k = \frac{\int_{a-\alpha}^{a+\beta} x \mu(x) dx}{\int_{a-\alpha}^{a+\beta} \mu(x) dx},$$

где $\mu(x)$ – функция принадлежности нечеткого числа:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 + \frac{x-a}{\alpha}, & x \leq a; \\ 1 - \frac{x-a}{\beta}, & x > a. \end{cases}$$



$$R_9^* = \sum_i R_{i,9}^* / |R_{i,9}^*| = 15 + 10 + 20 / 3 = 15$$

Рисунок 3. Расчет показателя ресурсоемкости (трудоемкости) реализации изменения требований назначения

Расчет ресурсоемкости изменения требований назначения многофункциональной инфокоммуникационной системы

Рассмотрим пример расчета ресурсоемкости изменения требований назначений на основе системы требований из 8 показателей назначения (рисунок 3), объединенных в три группы услуг (голос, видео и передача данных). Цикл изменения требований предполагает добавление, удаление и модификацию по одной частной инфокоммуникационной услуге. Не снижая общности подхода в работе, рассмотрен показатель трудоемкости (на рисунке представлены оценки трудоемкости реализации соответствующих функциональных требований в человеко-месяцах).

Приближенная оценка ресурсоемкости:

$$R^{np} = \cup R^{mfc} = \sum_i v_i \sum_j R_i;$$

$$R^{np} = 0,162 \times 115 = 18,63.$$

Расчёт оценок ресурсоемкости интервальным методом:

$$\begin{aligned} R^p &= R_9^p + R_4^p + R_6^p; \\ R^p &= K_{<об>}^c \cdot R_9^* + K_{<знач>}^d \cdot R_4^* + K_{<выс>}^m \cdot R_6^*; \\ R^p &= 15 \cdot [0, 7; 1, 0] + \\ &+ 10 \cdot [0, 0; 0, 3] + 22 \cdot [0, 2; 0, 6]; \\ R^p &= [10, 5; 15, 0] + [0, 0; 3, 0] + \\ &+ [4, 4; 13, 2] = [14, 9; 31, 2]. \end{aligned}$$

Расчёт оценок ресурсоемкости нечетким методом:

$$\begin{aligned} R^p &= R_9^p + R_4^p + R_6^p; \\ R^p &= K_{<об>}^c \cdot R_9^* + K_{<знач>}^d \cdot R_4^* + K_{<выс>}^m \cdot R_6^*; \\ R^p &= 15 \cdot \langle 0, 9; 0, 2; 0, 2 \rangle + 10 \cdot \langle 0, 1; 0, 1; 0, 2 \rangle + \\ &+ 22 \cdot \langle 0, 4; 0, 2; 0, 2 \rangle; \\ R^p &= \langle 13, 5; 3, 0; 3, 0 \rangle + \langle 1, 0; 1, 0; 2, 0 \rangle + \\ &+ \langle 8, 8; 4, 4; 4, 4 \rangle = \langle 23, 3; 8, 4; 9, 4 \rangle; \\ R^p &= 23,63. \end{aligned}$$

Результаты расчета показывают, что приближенная оценка входит в треугольную и интервальную оценки, однако имеет некоторые отличия от среднего из-за недоучета мероприятий вывода функциональных компонентов из эксплуатации вследствие исключения требований назначения.

Заключение

Изменение условий развития многофункциональных инфокоммуникационных систем приводит к увеличению интенсивности изменения требований назначения. Это определяет необходимость реконфигурации инфокоммуникационной системы и планирования затрат ресурсов на непрерывное обеспечение процесса развития.

Для получения приближенных оценок ресурсоемкости реализации изменения требований предложен подход на основе нечетких лингвистических оценок. Этот подход позволяет на основе изменения системы требований рассчитывать непосредственно в рамках процесса управления требованиями также и оценки ресурсов на процессы реконфигурации. Тем самым это позволя-

ет на ранних стадиях цикла принятия решений иметь оценки ресурсоемкости процесса реконфигурации.

Литература

- Jayatilleke S., Lai R. A systematic review of requirements change management // *Information and Software Technology*. 2017. Vol. 93. P. 163-185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2017.09.004>
- Impact of requirements volatility on software architecture: How do software teams keep up with ever-changing requirements? / S. Dasanayake [et al.] // *Journal of Software: Evolution and Process*. 2019. Vol. 31, no. 6. P. e2160. DOI: <https://doi.org/10.1002/smr.2160>
- Гришаков В.Г., Логинов И.В. Управление динамической реконфигурацией ИТ-инфраструктуры в меняющихся условиях // *Информационные системы и технологии*. 2016. № 3 (95). С. 13–22.
- Сервис-ориентированная модель телекоммуникационной системы / Д.Н. Дементьев [и др.] // *Инфокоммуникационные технологии*. 2015. Т. 13, № 1. С. 51–58.
- Lane J.A. Cost model extensions to support systems engineering cost estimation for complex systems and systems of systems // *7th Annual Conf. on Systems Engineering Research*. London, Loughborough University, 2009. URL: <http://cser.lboro.ac.uk/papers/S02-14.pdf> (дата обращения: 08.04.2021).
- Tomozei C., Vetrici M., Amancei C. IT & C projects duration assessment based on audit and software reengineering // *Informatica Economica*. 2009. Vol. 13, no. 1. P. 117–126.
- Логинов И.В. Оценивание ресурсоемкости реинжиниринга информатизированных бизнес-процессов // *Информационно-управляющие системы*. 2013. № 1 (62). С. 85–92.
- Гончаренко А.Н. Теоретико-множественный анализ эффективности реализации ИТ-проектов горного предприятия на основе нечеткой логики // *Научный вестник Московского государственного горного университета*. 2011. № 3. С. 10–16.
- Гареев Т.Ф. Нечетко-интервальные описания при оценке эффективности инновационных проектов // *Вестник Казанского технологического университета*. 2006. № 4. С. 256–265.
- Карякин А.М., Грубов Е.О. Подход к определению трудоемкости научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в энергетике с помощью нечетких экспертных оценок // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. 2012. № 3. С. 55–60.
- Дурнев Р.А., Жданенко И.В. Оценка трудоемкости НИОКР: некоторые результаты нормирования научного труда // *Современные наукоемкие технологии*. 2013. № 12. С. 40–48.
- Бортникова В.О. Разработка параметрической модели расчета трудоемкости и стоимости программного продукта на базе языков высокого уровня программирования // *Технологический аудит и резервы производства*. 2012. Т. 5. № 2 (7). С. 15–16.
- Востриков Д.А. Методика расчета трудоемкости разработки программного обеспечения образовательного назначения // *Вестник НОУ «ОНУТЦ ОАО «Газпром»»*. 2010. № 7. С. 40–44.
- Мееров И.Б., Русаков А.В. Новый подход для оценки трудоемкости разработки параллельных программ // *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. 2012. № 5-2. С. 398–408.
- Хубаев Г.Н., Широкова С.Н., Нзомвита Р. Статистический анализ трудоемкости проектирования веб-приложений // *Управление экономическими системами*. 2013. № 7 (55). С. 43.
- Chua B., Verner J. Examining requirements change rework effort: A study // *International Journal of Software Engineering & Applications*. 2010. Vol. 1, no. 3. P. 48–64. DOI: <https://doi.org/10.5121/ijsea.2010.1304>
- Логинов И.В. Оптимизация портфеля ИТ-услуг путем многопараметрической оценки пригодности на основе адаптивных технологических моделей // *Системы управления и информационные технологии*. 2017. № 2 (68). С. 43–48.
- Lapouchnian, A. Goal-oriented requirements engineering: An overview of the current research. University of Toronto, 2005. P. 32.
- Reconciling system requirements and runtime behavior / S. Feather [et al.] // *9th Int. Workshop on Software Specification and Design*. 1998. P. 10.
- Loucopoulos P., Kavakli E., Chechina N. Requirements engineering for cyber physical production systems // *Advanced Information Systems Engineering. CAiSE 2019. Lecture Notes in Computer Science*. 2019. Vol. 11483. P. 276–291. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-21290-2_18
- Jayatilleke S., Lai R., Reed K. A method of requirements change analysis // *Requirements En-*

gineering, 2018. Vol. 23 (9). P. 493–508. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00766-017-0277-7>

22. Шевляков А.О. Алгебраические операции с нечеткими треугольными числами с использованием алгебры двухкомпонентных

чисел // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: системный анализ и информационные технологии. 2017. № 1. С. 149–153.

Получено 09.04.2021

Логинов Илья Валентинович, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации. 302015, Российская Федерация, г. Орёл, ул. Приборостроительная, 35. Тел. +7 910 303-80-60. E-mail: loginov_iv@bk.ru

A METHOD FOR ASSESSING THE RESOURCE INTENSITY OF CHANGING THE REQUIREMENTS OF THE PURPOSE WHEN THE DESCRIPTION OF RECONFIGURABLE INFOCOMMUNICATION SYSTEMS IS INCOMPLETE

Loginov I.V.

*The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation, Orel, Russian Federation
E-mail: loginov_iv@bk.ru*

The increase in the structural and functional complexity of infocommunication systems as a result of scientific and technological progress has led to the formation of multifunctional systems. Under contemporary conditions such systems are characterized by the dynamics of requirements and reconfiguration for these changes. Continuous reconfiguration requires the necessary resources in the planning process to perform the assessments. The aim of the article is to develop an approach to assessing the resource intensity of implementing changes in the requirements of the assignment with incomplete description of the reconfigurable infocommunication system. The main idea of the work is to form estimates of the resource intensity of reconfiguration based on the values of the coefficient of change in requirements. The assessment is performed on the basis of available data on the performance of particular indicators of the requirement system – existing functional components with known resource intensity values. At the same time, correction factors depending on the type of change in requirements and the type of resource, which are specified in the process of changing the multifunctional system according to the criterion of the minimum estimation error, are introduced. The practical significance of the work is to develop a methodology for approximate estimation of resource intensity based on a fuzzy approach in order to take into account the uncertainty of the initial data describing the infocommunication system.

Keywords: *system requirements, functional dynamics, multifunctional systems, infocommunication services, reconfiguration, state uncertainty*

DOI: 10.18469/ikt.2021.19.3.10

Loginov Ilya Valentinovich, Academy of the Federal Service of Guard of Russia. 35, Priborostroitelnaya Street, Orel, 302015, Russian Federation; Employee of the Academy. Tel. +7 910 303-80-60. E-mail: loginov_iv@bk.ru

References

1. Jayatilleke S., Lai R. A systematic review of requirements change management. *Information and Software Technology*, 2017, vol. 93, pp. 163-185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2017.09.004>
2. Dasanayake S. et al. Impact of requirements volatility on software architecture: How do software teams keep up with ever changing requirements? *Journal of Software: Evolution and Process*, 2019, vol. 31, no. 6, pp. e2160. DOI: <https://doi.org/10.1002/smr.2160>
3. Grishakov V.G., Loginov I.V. Managing the dynamic reconfiguration of IT infrastructure in a changing environment. *Informatsionnye sistemy i tehnologii*, 2016, no. 3 (95), pp. 13–22. (In Russ.)

4. Dement'ev D.N. et al. Service-oriented telecommunication system model. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2015, vol. 13, no. 1, pp. 51–58. (In Russ.)
5. Lane J.A. Cost model extensions to support systems engineering cost estimation for complex systems and systems of systems. *7th Annual Conf. on Systems Engineering Research*, London, Loughborough University, 2009, URL: <http://cser.lboro.ac.uk/papers/S02-14.pdf> (accessed: 08.04.2021).
6. Tomozei C., Vetrici M., Amancei C. IT & C projects duration assessment based on audit and software reengineering. *Informatica Economica*, 2009, vol. 13, no. 1, pp. 117–126.
7. Loginov I.V. Estimating the resource intensity of the reengineering of computerized business processes. *Informatsionno-upravljajuschie sistemy*, 2013, no. 1 (62), pp. 85–92. (In Russ.)
8. Goncharenko A.N. Set-theoretical analysis of the effectiveness of the implementation of IT projects of a mining enterprise based on fuzzy logic. *Nauchnyj vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, 2011, no. 3, pp. 10–16. (In Russ.)
9. Gareev T.F. Fuzzy-interval descriptions in assessing the effectiveness of innovative projects. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*, 2006, no. 4, pp. 256–265. (In Russ.)
10. Karjakin A.M., Grubov E.O. An approach to determining the labor intensity of research and development work in the energy sector using fuzzy expert assessments. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*, 2012, no. 3, pp. 55–60. (In Russ.)
11. Durnev R.A., Zhdanenko I.V. Assessment of the labor intensity of R&D: some results of the standardization of scientific labor. *Sovremennye naukoemkie tehnologii*, 2013, no. 12, pp. 40–48. (In Russ.)
12. Bortnikova V.O. Development of a parametric model for calculating the labor intensity and cost of a software product based on high-level programming languages. *Tehnologicheskij audit i rezervy proizvodstva*, 2012, vol. 5, no. 2 (7), pp. 15–16. (In Russ.)
13. Vostrikov D.A. Methodology for calculating the complexity of software development for educational purposes. *Vestnik NOU «ONUTTs OAO “Gazprom”»*, 2010, no. 7, pp. 40–44. (In Russ.)
14. Meerov I.B., Rusakov A.V. A new approach for assessing the complexity of developing parallel programs. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*, 2012, no. 5-2, pp. 398–408. (In Russ.)
15. Hubaev G.N., Shirobokova S.N., Nzomvita R. Statistical analysis of the complexity of designing web applications. *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami*, 2013, no. 7 (55), pp. 43. (In Russ.)
16. Chua B., Verner J. Examining requirements change rework effort: A study. *International Journal of Software Engineering & Applications*, 2010, vol. 1, no. 3, pp. 48–64. DOI: <https://doi.org/10.5121/ijsea.2010.1304>
17. Loginov I.V. Optimization of the IT service portfolio by multivariate suitability assessment based on adaptive technology models. *Sistemy upravlenija i informatsionnye tehnologii*, 2017, no. 2 (68), pp. 43–48. (In Russ.)
18. Lapouchnian, A. Goal-oriented requirements engineering: An overview of the current research. University of Toronto, 2005, p. 32.
19. Feather S. et al. Reconciling system requirements and runtime behavior. *9th Int. Workshop on Software Specification and Design*, 1998, p. 10.
20. Loucopoulos P., Kavakli E., Chechina N. Requirements engineering for cyber physical production systems. *Advanced Information Systems Engineering. CAiSE 2019. Lecture Notes in Computer Science*, 2019, vol. 11483, pp. 276–291. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-21290-2_18
21. Jayatilleke S., Lai R., Reed K. A method of requirements change analysis. *Requirements Engineering*, 2018, vol. 23 (9), pp. 493–508. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00766-017-0277-7>
22. Shevljakov A.O. Algebraic operations on fuzzy triangular numbers using the algebra of two-component numbers. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: sistemnyj analiz i informatsionnye tehnologii*, 2017, no. 1, pp. 149–153. (In Russ.)

Received 09.04.2021