# Моделирование структурной организации единого информационного пространства предприятия – разработчика микроэлектронных систем

О. В. Дрозд, С. В. Ченцов, Д. В. Капулин

Сибирский федеральный университет, Институт космических и информационных технологий Красноярск, Россия

#### Аннотация

При формировании единого информационного пространства (ЕИП) широко используется моделирование как объектов информационного обмена, так и инфраструктуры ЕИП. Несмотря на большое разнообразие подходов к решению данной задачи, в частности с использованием метода матрицы структуры проекта, предлагаемые решения не обеспечивают непосредственную связь между элементами описываемой структуры и используемыми аппаратными и программными средствами. Также существующие подходы к моделированию информационной структуры не учитывают возможные внешние и внутренние ограничения, накладываемые на размещение компонентов ЕИП в пространстве предприятия. В работе предлагается подход к формализации структуры ЕИП предприятия – разработчика микроэлектронных систем, призванный устранить данные недостатки.

В статье рассмотрена обобщенная модель структурной организации ЕИП по параллельному методу интеграции средств поддержки жизненного цикла изделия. Модель включает в себя описание элементов структуры информационного пространства, каналов связи, их статических и динамических характеристик. Предложенная модель также учитывает ограничения, накладываемые на формирование структуры ЕИП.

Имитационное моделирование структурной организации ЕИП, представленной в виде совокупности многоканальных систем массового обслуживания, позволило сделать выводы о пропускной способности и надежности рассматриваемых вариантов организации ЕИП с учетом предлагаемых к использованию аппаратных (серверное решение) и программных (система управления базами данных) средств.

#### Ключевые слова

конструкторское проектирование изделия, единое информационное пространство, моделирование структурной организации, средства информационной поддержки

#### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (договор № 03.G25.31.0279).

## Для цитирования

Дрозд О. В., Ченцов С. В., Капулин Д. В. Моделирование структурной организации единого информационного пространства предприятия – разработчика микроэлектронных систем // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2019. Т. 17, № 2. С. 18–29. DOI 10.25205/1818-7900-2019-17-2-18-29

# Modeling the Structural Organization of Unified Information Space for the Microelectronics Design Center

O. V. Drozd, S. V. Chentsov, D. V. Kapulin

Siberian Federal University, School of Space and Information Technologies Krasnoyarsk, Russian Federation

#### Abstract

During the process of forming a unified information space (UIS) is widely used modeling of information exchange facilities and UIS infrastructure. Despite the large variety of approaches to modeling a UIS, in particular using the de-

© О. В. Дрозд, С. В. Ченцов, Д. В. Капулин, 2019

ISSN 1818-7900 (Print). ISSN 2410-0420 (Online) Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2019. Том 17, № 2 Vestnik NSU. Series: Information Technologies, 2019, vol. 17, no. 2 sign structure matrix method, the proposed solutions do not provide a direct link between elements of the described structure and hardware and software equipment. Also, existing approaches for modeling the UIS do not take into account possible external and internal constraints imposed on the placement of UIS components in the enterprise space.

The paper proposes an approach to formalizing the UIS structure of the microelectronics design center, which is intended to eliminate these shortcomings. The structure of the UIS according to a parallel organization model includes following main components: a product data management system, participants of the microelectronic system design process, data-processing hardware and software. The structure of the UIS as a dynamic system can be reduced to a generalized model that includes the set of subscribers – participants of the design process, primary and secondary data-processing tools and objects of information exchange. The mathematical description is made using elements of theory of sets, matrices and queuing systems. The proposed model takes into account the constraints that affect a form of implementation of the UIS structure, as well as many characteristics of software and hardware.

Simulation modeling of the UIS structural organization, presented as a set of multichannel queuing systems, helped to draw conclusions about bandwidth and reliability of considered variants for the UIS organization based on proposed hardware (the server solution) and software (the database management system) tools that are being used.

Keywords

product design, unified information space, structural organization modeling, information support tools *Acknowledgements* 

This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (agreement no. 03.G25.31.0279).

For citation

Drozd O. V., Chentsov S. V., Kapulin D. V. Modeling the Structural Organization of Unified Information Space for the Microelectronics Design Center. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2019, vol. 17, no. 2, p. 18–29. (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7900-2019-17-2-18-29

#### Введение

Реализация конструкторского проектирования (КП) микроэлектронных систем (МЭС) предполагает активное использование программных и аппаратных средств поддержки проектирования с последующей их интеграцией в единую среду информационной поддержки КП МЭС.

Существующие решения по информационной поддержке этапов жизненного цикла (ЖЦ) МЭС можно подразделить на средства интеграции по последовательной и параллельной модели. Решения первого типа предоставляются компаниями – разработчиками элементной базы и систем автоматизированного проектирования, ориентированных на приборостроительную отрасль [1], также они включают средства преобразования описания процесса функционирования МЭС на языке высокого уровня в описание на уровне регистровых передач [2–4]. Решения второго типа предполагают обмен информацией посредством системы управления данными об изделии, при этом формируется единое информационное пространство (ЕИП) предприятия, позволяющее централизованно управлять информацией об изделии [5, 6]. Подобные системы поставляются в составе средств автоматизации проектирования общего назначения, или как часть комплекта бизнес-приложений.

ЕИП, как и большинство типов информационных систем, создается прежде всего для удовлетворения потребностей специалистов — участников ЖЦ изделия в автоматизации их профессиональной деятельности и обеспечении информационного обмена. При этом необходимо отметить, что участники ЖЦ изделия могут быть распределены по территориально несвязанным друг с другом площадкам с формированием «виртуального предприятия» [7]. Вопрос информационной поддержки изделия связан не только со способами представления и управления конструктивными решениями, но и с формализацией и анализом структурной организации ЕИП с учетом ограничений на размещение ее компонентов.

При формировании ЕИП как распределенной информационной системы широко используется моделирование и объектов информационного обмена, и инфраструктуры ЕИП. Моделирование позволяет структурировать разрабатываемую систему, выделить основные объекты и субъекты, обнаружить закономерности и связи между элементами системы, а также сформулировать критерии оптимизации и существующие при этом ограничения [8–10].

Вне зависимости от способа интеграции отдельных компонентов моделирование структуры ЕИП предполагает:

- описание элементов структуры системы;
- описание статических и динамических характеристик элементов структуры и каналов связи;
- выделение множества свойств и характеристик как системы в целом, так и отдельных компонентов.

Несмотря на большое разнообразие подходов к решению данной задачи, в частности с использованием метода матрицы структуры проекта, предлагаемые решения не обеспечивают непосредственную связь между элементами описываемой структуры и используемыми аппаратными и программными средствами. Также существующие подходы к моделированию информационной структуры не учитывают возможные внешние и внутренние ограничения, накладываемые на размещение компонентов ЕИП в пространстве предприятия [11–13]. Предлагаемый ниже подход к формализации структуры ЕИП предприятия — разработчика МЭС призван устранить данные недостатки.

### Структура ЕИП по параллельной модели организации

Рассмотрим структуру ЕИП организации – разработчика МЭС по параллельной модели интеграции (рис. 1). Объектом информационного обмена в ЕИП является электронный конструкторский документ (ЭКД).



Puc. 1. Структура ЕИП организации – разработчика МЭС по параллельной модели интеграции

Fig. 1. The Structure of the UIS of the Microelectronics Design Center for the Parallel Integration Model

#### ЕИП (1) включает следующие основные составляющие:

• систему управления данными (СУД) (2) – информационная система, представляющая унифицированный обменный формат ЭКД, реализующая модель представления конструк-

торских данных об изделии, а также функций обработки данных и обеспечения взаимодействия между участниками ЖЦ;

- участников процесса конструкторского проектирования поставщики и потребители информации;
- аппаратные средства обработки данных стационарные и портативные рабочие станции, измерительное оборудование и т. д., способные взаимодействовать с ЕИП посредством сетевых интерфейсов;
  - программные средства обработки данных развернутые на базе аппаратных средств.

Основными источниками конструкторских данных в ЕИП являются системы автоматизированного проектирования и моделирования, а также интегрированные среды разработки встроенного программного обеспечения МЭС. Приведение разнородных документов от программных и аппаратных систем сторонних разработчиков к унифицированному формату осуществляется посредством программы-посредника.

# Обобщенная модель структурной организации ЕИП

Процесс конструкторского проектирования изделия, равно как и любая другая стадия ЖЦ МЭС, может быть представлен в виде совокупности этапов, задач и процедур. Тип задачи или процедуры зависит от осуществляемой формы преобразования информации (создание, редактирование, актуализация, поиск и т. д.).

Для любого подмножества процедур и задач могут существовать соответствующе *средства поддержки*, выполняющие преобразование информации, тип которого зависит от поддерживаемой задачи или процедуры. Совокупность средств поддержки конструкторского проектирования, связанных множеством каналов связи, а также СУД образуют структуру ЕИП предприятия, в которой каждое из множества средств поддержки может быть представлено в виде набора программных и аппаратных средств обработки информации и абонентов (участников КП МЭС), обслуживающих эти средства.

Переход изделия на следующую задачу, этап КП или ЖЦ в целом приводит к изменению структуры ЕИП с появлением:

- новой формы реализации структуры ЕИП;
- новой структуры связей между элементами ЕИП;
- новых свойств структуры ЕИП в целом.

Таким образом, ЕИП это динамическая система, структурная организация которой может быть сведена к обобщенной модели, включающей в себя следующие элементы (рис. 2):

- 1) абоненты участники конструкторского проектирования  $(P = \{p_i\}, i = \overline{1, I} \text{множество номеров абонентов});$
- 2) первичные средства обработки информации аппаратное обеспечение  $(B = \{b_j\}, j = \overline{1, J}$  множество номеров первичных источников);
- 3) вторичные средства обработки информации программное обеспечение  $(D = \{d_b\}, b = \overline{1, B}$  множество номеров вторичных источников);
- 4) первичные объекты информационного обмена, используемые первичными средствами обработки ( $N_S = \{ns_a\}, \ a = \overline{1, A}$  множество номеров объектов);
- 5) вторичные объекты информационного обмена, используемые вторичными средствами обработки ( $A_S = \{as_q\}, \ q = \overline{1, Q}$  множество номеров объектов).

Реализацию структуры информационного пространства определяет множество схемотехнических решений  $\Delta_a$ :

$$\Delta_{a} = \left\{ a = \left\langle mm, mo, al, ap \right\rangle_{|mm \in MM, mo \in MO, al \in AL, ap \in AP} \right\},\,$$

которое включает в себя: модель представления конструкторских данных (MM), функции обработки данных (MO), функции обеспечения информационного взаимодействия абонентов

(AL), программно-аппаратную реализацию серверной составляющей СУД (AP), включающую в себя сервер баз данных (CБД) и файловый сервер  $(\Phi C)$ .

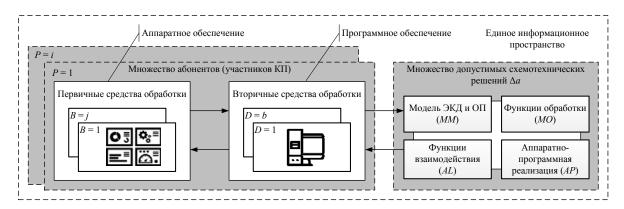


Рис. 2. Обобщенная модель структурной организации информационного пространства

Fig. 2. The Generalized Structural Model of the Information Space Organization

Для обработки информации в режиме мягкого реального времени (T) также вводится множество  $W^{(a)}$ :  $N_S \times A_S \times T \to A_S^{(a)} \times N_S^{(a)}$ , ограничивающее множество преобразований W на множестве решений  $\Delta_a$ . Средняя допустимая длительность обработки входного запроса принята равной трем секундам, что соответствует установленным требованиям к информационным системам электронного документооборота  $^1$ .

На форму реализации структуры ЕИП и его характеристики влияют ограничения, накладываемые со стороны пользователя ( $V_C$ ), размещением компонентов ЕИП и абонентов на предприятии ( $E_C$ ), характеристиками аппаратного и программного обеспечения ( $D_C$ ) и формой представления объекта информационного обмена ( $S_C$ ).

Множество составляющих ЕИП образует пространство альтернативных вариантов (a) схемотехнического решения при заданных ограничениях (множество декартовых произведений)  $F_{V_C,E_C,D_C,S_C}^{(a)}$ . Цель формирования структуры ЕИП состоит в обеспечении информационного взаимодействия между участниками КП изделия. Задача заключается в поиске оптимального схемотехнического решения  $\Delta_a^{\text{ont}}$  организации взаимодействия компонентов ЕИП с учетом заданных ограничений  $V_C$ ,  $E_C$ ,  $D_C$ ,  $S_C$  при ограничениях на множество преобразований  $W^{(a)}$ :

$$\begin{split} F_{V_{C},E_{C},D_{C},S_{C}}^{(a)} \subseteq \\ \subseteq P^{(a)} \times B^{(a)} \times D^{(a)} \times N_{S}^{(a)} \times A_{S}^{(a)}, & \Delta_{a}^{\text{oitt}} \begin{cases} \left\langle p_{i}^{(a)},b_{j}^{(a)},d_{r}^{(a)},ns_{a}^{(a)},as_{q}^{(a)} \right\rangle \\ \Phi(a) : F_{V_{C}}^{(a)} \cap F_{E_{C}}^{(a)} \cap F_{D_{C}}^{(a)} \cap F_{S_{C}}^{(a)} \\ W^{(a)} : N_{S} \times A_{S} \times T \to A_{S}^{(a)} N_{S}^{(a)} \end{cases}. \end{split}$$

Результатом поиска является конкретное схемотехническое решение, определяющее структуру и конфигурацию аппаратного и программного обеспечения ЕИП, необходимого для обеспечения информационной поддержки сопровождаемой стадии ЖЦ изделия.

Структурная организация ЕИП описывается множеством характеристик аппаратных и программных средств (табл. 1).

 $<sup>^{1}</sup>$  Приказ Министерства связи и массовых коммуникаций РФ от 02.09.2011 № 221.

Таблица 1

# Множество характеристик структурной организации ЕИП

#### Table 1

# Characteristics of the UIS Structural Organization

Характеристика	Описание				
Характеристики структуры ЕИП					
$1. A = \{a_n\}, \ n = \overline{1, N}$	множество абонентов — участников жизненного цикла $(N)$				
2. $P = \{p_m\}, \ m = \overline{1, M}$	множество серверов баз данных $(M)$				
$3. B = \{b_k\}, \ k = \overline{1, K}$	множество файловых серверов (К)				
Характеристики участников информационного взаимодействия					
$1. R = \{r_d\}, \ d = \overline{1, D}$	множество приложений – источников запросов $(D)$				
2. $S = \{s_q\}, \ q = \overline{1, Q}$	множество типов запросов				
3. $T = \{T_1, T_2\}$	множество способов ввода-вывода информации ( $T_1$ : клиент $\rightarrow$ сервер, $T_2$ : сервер $\rightarrow$ клиент)				
Статические характеристики ЕИП					
$1. C_{\nu}$	скорость передачи данных по каналу связи, Мбит/с				
$2. C_d$	постоянная задержка передачи данных по каналу связи, мс				
$3. \theta_{sb}$	постоянная задержка обработки данных в СБД, мс				
4. $\theta_{sf}$	постоянная задержка обработки данных в ФС, мс				
Динамические характеристики ЕИП					
$1. \Lambda = \{\lambda_n\}$	множество интенсивностей запросов $(n)$ на считывание данных, запрос/с				
2. $M = \{\mu_n\}$	множество интенсивностей запросов $(n)$ на запись данных, запрос/с				

Статические характеристики ЕИП определяются параметрами используемых аппаратных и программных средств. Оценки параметров СП и СБД значения характеристик определяются исходя из параметров центрального процессора (число вычислительных ядер, максимальная тактовая частота и максимальный объем сегмента) и дисковой подсистемы (среднее время доступа к данным и потоковая скорость передачи данных). Характеристики канала связи зависят от полосы пропускания канала связи, мощности сигнала и определяются по теореме Шеннона – Хартли.

Множество характеристик структурной организации ЕИП можно представить в виде двух групп матриц распределения, описывающих межсоединения элементов пространства ( $\Xi$ , H,  $\Gamma$ ) и информационное взаимодействие между ними (O,  $\Upsilon$ ,  $\Phi$ ), также выделяется матрица связей между группами ( $\Psi$ ):

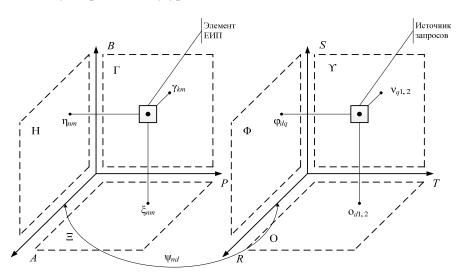
- средств обработки информации верхнего уровня по серверам баз данных:  $\Xi = \|\xi_{a_n p_m}\| = \|\xi_{nm}\|, n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}$ ;
- средств обработки информации верхнего уровня по файловым серверам:  $H = \|\eta_{a_n b_k}\| = \|\eta_{nk}\|, n = \overline{1, N}, k = \overline{1, K}$ ;
  - серверов баз данных по файловым серверам:  $\Gamma = \left\| \gamma_{p_m b_k} \right\| = \left\| \gamma_{mk} \right\|, m = \overline{1, M}, k = \overline{1, K}$ ;

- средств обработки информации верхнего уровня по способам ввода-вывода запросов:  $O = \left\| \mathbf{o}_{r_d t_{1,2}} \right\| = \left\| \mathbf{o}_{d1,2} \right\|, d = \overline{\mathbf{1}, D}, t = \mathbf{1}, 2 \; ;$ 
  - типов запросов по способам ввода-вывода запросов:  $\Upsilon = \left\|\mathbf{v}_{s_q t_{1,2}}\right\| = \left\|\mathbf{v}_{q1,2}\right\|, q = \overline{1, Q}, t = 1, 2$ ;
- источников информационных сообщений по типам запросов:  $\Phi = \| \phi_{r_d s_q} \| = \| \phi_{dq} \|,$   $d = \overline{1, D}, \ q = \overline{1, Q};$
- матрица связей между группами (приложениями источниками запросов и абонентами):  $\Psi = \left\| \psi_{a_q r_d} \right\| = \left\| \psi_{dq} \right\|, a = \overline{1, A}, r = \overline{1, R}$ .

Элементы матриц  $\Xi$ , H,  $\Gamma$  могут принимать значение 1 или 0: наличие или отсутствие связи между элементами (a, b, p). Любой узел ЕИП характеризуется тройкой значений  $(\xi, \eta, \gamma)$  описывающей все множество его связей с другими компонентами.

Элементы матриц О,  $\Upsilon$ ,  $\Phi$  могут принимать непрерывные значения от 0 до 1, соответствующие вероятности того, что запросы, генерируемые данным источником, характеризуются определенным способом ввода-вывода и типом запроса. Источник запросов в системе характеризуется тройкой значений (о, v,  $\varphi$ ), которая описывает формат создаваемых им запросов в большинстве возможных ситуаций.

Графически взаимодействие между элементами матриц ( $\Gamma$ , H,  $\Xi$ , O,  $\Upsilon$ ,  $\Phi$ ,  $\Psi$ ) показано на рис. 3. Куб со сторонами ( $\Gamma$ , H,  $\Xi$ ) представляет собой модель соединений компонентов ЕИП и соответствует сетевому уровню модели OSI (L3). Куб со сторонами (O,  $\Upsilon$ ,  $\Phi$ ) представляет собой модель информационного взаимодействия компонентов ЕИП и соответствует представительскому и прикладному уровням модели OSI (L6 и L7 соответственно).



*Рис. 3.* Графическое представление матриц ( $\Gamma$ , H,  $\Xi$ , O,  $\Upsilon$ ,  $\Phi$ ,  $\Psi$ )

Fig. 3. Graphical representation of matrices  $(\Gamma, H, \Xi, O, \Upsilon, \Phi, \Psi)$ 

Представленные матрицы распределения соответствуют матричному описанию структуры системы массового обслуживания (СМО). Так, для рассматриваемой клиент-серверной архитектуры модель структурной организации ЕИП (рис. 4) можно представить в виде совокупности СМО<sub>1</sub> (взаимодействие клиентской и северной составляющих системы) и СМО<sub>2</sub> (взаимодействие серверов баз данных и файловых серверов).

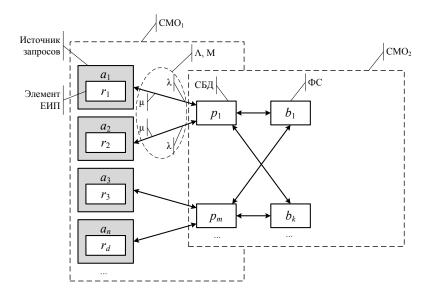


Рис. 4. Клиент-серверная организация ЕИП как совокупность многоканальных СМО

Fig. 4. Client-Server Organization of the UIS as a Combination of Multichannel QS

В рассматриваемой модели приняты следующие ограничения для представления СБД и  $\Phi C$ :

- СБД и ФС считаются независимыми;
- СБД и ФС обладают накопителями ограниченной емкости;
- входной поток запросов соответствует распределению Пуассона;
- поведение СМО во времени описывается марковским процессом с непрерывным временем и дискретным множеством состояний.

Математическое описание структурной организации ЕИП в виде СМО было выполнено в виде системы дифференциальных уравнений Колмогорова — Чепмена для вероятностей состояний [14]. Решение системы осуществлялось методом Рунге — Кутты с переменным шагом [15].

Многоканальная модель СМО позволяет учесть использование многопроцессорных и распределенных серверных решений и программного обеспечения с различными процедурами обработки информационных сообщений.

#### Имитационное моделирование структурной организации ЕИП

Кратко рассмотрим начальные условия и результаты моделирования структурной организации единого информационного пространства КП МЭС. Значения начальных условий при проведении моделирования зависят от существующих ограничений на пропускную способность оборудования и каналов связи (статические характеристики ЕИП) и состава участников ЕИП (характеристики структуры ЕИП). Для автоматизации процесса формирования номенклатуры средств реализации инфраструктуры ЕИП целесообразно использовать программные средства параллельного моделирования и параметрической оптимизации, такие как MATLAB Parallel Computing Toolbox и Optimization Toolbox.

Аппаратная реализация моделируемой структуры ЕИП включает в себя следующие ключевые компоненты:

- серверное решение (СБД и ФС): *DELL R*630;
- система управления базами данных: Microsoft SQL Server 2012;
- центральный процессор: *Intel Xeon E5*-2699 (2.3 ГГц, 18 ядер, 36 потоков, количество 2 шт.);

- оперативная память: DDR4 RDIMM PC4-21300 (8 Гб, 2133 МГц, количество 12 шт.);
- внешняя память: *Seagate ST*1200*MM*0129 (1,2 Тб, количество 1 шт.)
- линия связи: экранированная витая пара *Hyperline LSZH CMR C5e* (1943 м).

При проведении моделирования СМО были приняты следующие начальные условия:

- интенсивность обслуживания: 0,7;
- интенсивность входного потока заявок ( $\lambda$ ): от 1,0 до 5,5 с шагом 0,5;
- обслуживание заявок в режиме разделения времени;
- интенсивность ухода заявок из очереди: 1,5;
- допустимое число запросов в системе: 10;
- число активных абонентов в единицу времени: от 2 до 5.

Данные начальные условия соответствуют организации – разработчику МЭС (дизайнцентру) с тремя основными структурными подразделениями: лабораториями системного проектирования, топологического проектирования и подготовки к производству с числом активных пользователей 60 человек и 45 обращениями к СУД от одного пользователя в час. Примерами подобной специализированной проектной организации являются:

- Microelectronics Design Center (Высшая техническая школа, Цюрих, Швейцария);
- Yonga Technology Microelectronics R&D (Технопарк Стамбула, Турция);
- ITB Microelectronics Center (Технологический институт, Бандунг, Индонезия);
- Дизайн-центр микроэлектроники (Институт точной механики и вычислительной техники РАН, Москва).

В ходе моделирования регистрировались следующие параметры СМО:

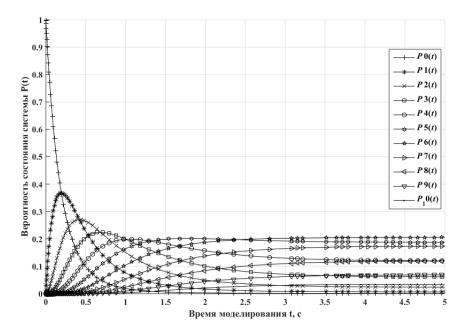
- вероятность отказа в обслуживании;
- относительная пропускная способность;
- абсолютная пропускная способность;
- вероятность наличия очереди;
- вероятность загрузки всех каналов обслуживания;
- среднее количество заявок;
- среднее время пребывания заявки;
- средняя длина очереди;
- среднее время пребывания заявки в очереди.

Пример результатов моделирования СМО, характеризующих общую пропускную способность и надежность рассматриваемой структуры (вероятность отказа в обслуживании  $(P_n)$ , относительная пропускная способность (O), абсолютная пропускная способность (A)), представлены в табл. 2.

Таблииа 2 Параметры СМО, характеризующие структурную организацию ЕИП Table 2 The Parameters of the QS, Describing the Structural Organization of the UIS

Эксперимент	СМО типа <i>M/M/2/10/RR</i>			СМО типа <i>M/M/2/10/RR</i>		
	$P_n$	$P_n$	$P_n$	$P_n$	$\mathcal{Q}$	A
1	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000
2	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,500
3	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	2,000
4	0,000	0,000	0,000	0,001	0,999	2,499
5	0,000	0,000	0,000	0,002	0,998	2,995
6	0,001	0,001	0,001	0,004	0,996	3,486
7	0,001	0,001	0,001	0,008	0,992	3,967
8	0,003	0,003	0,003	0,015	0,985	4,435
9	0,005	0,005	0,005	0,023	0,977	4,883
10	0,009	0,009	0,009	0,035	0,965	5,310

Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2019. Том 17, № 2 Vestnik NSU. Series: Information Technologies, 2019, vol. 17, no. 2



*Puc.* 5. Вероятности состояний ЕИП, представленной в виде системы массового обслуживания типа M/M/2/10/RR при значении  $\lambda = 5.5$ 

Fig. 5. The Probabilities of the UIS States Presented in the form of a M/M/2/10/RR Queuing System with the Value  $\lambda = 5.5$ 

Пример графика распределения вероятностей состояния СМО при заданном значении  $\lambda$  представлен на рис. 5. Моделирование показало, что введение дополнительного СБД или ФС дает снижение вероятности отказа в обслуживании на 0,86 %, увеличение относительной и абсолютной пропускной способности на 0,86 и 4,66 %. При использовании только комбинации «сервер баз данных – файловый сервер» значения данных параметров составляют  $P_n = 0,012,\ Q = 0,965$  и A = 5,310, что соответствует требованиям к обеспечению информационной поддержки КП изделия.

Таким образом, введение дополнительных серверов обработки данных при достаточно низкой частоте поступления запросов на получение доступа к информации относительно производительности используемых средств обработки данных, дает положительный эффект с точки зрения надежности информационной структуры, но он незначителен и не окупает дополнительных финансовых затрат.

#### Заключение

В результате работы получена обобщенная модель структурной организации единого информационного пространства по параллельному методу интеграции средств поддержки жизненного цикла изделия. Данная модель включает в себя описание элементов структуры информационного пространства, каналов связи, их статических и динамических характеристик. Предложенная модель также учитывает ограничения, накладываемые на формирование структуры ЕИП. Выполнено имитационное моделирование структурной организации ЕИП, представленной в виде совокупности многоканальных систем массового обслуживания. По результатам моделирования сделаны выводы о пропускной способности и надежности рассматриваемого варианта организации ЕИП с учетом предлагаемых к использованию аппаратных (серверное решение) и программных (система управления базами данных) средств.

#### Список литературы / References

- Yang H., Zhang J., Sun J. and Yu L. Review of advanced FPGA architectures and technologies. *Journal of Electronics* (China), 2014, vol. 31, no. 5, p. 371–393. DOI 10.1007/s11767-014-4090-x
- 2. Nane R., Sima V.-M., Pilato C., Choi J., Fort B., Canis A., Chen Y. T., Hsiao H., Brown S., Ferrandi F., Anderson J., Bertels K. A Survey and Evaluation of FPGA High-Level Synthesis Tools. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 2016, vol. 35, no. 10, p. 1591–1604. DOI 10.1109/TCAD.2015.2513673
- 3. **Meeus W., Van Beeck K., Goedeme T., Meel J., Stroobandt D.** An overview of today's high-level synthesis tools. *Design Automation for Embedded Systems*, 2012, vol. 16, no. 3, p. 31–51. DOI 10.1007/s10617-012-9096-8
- 4. Cong J., Bin L., Neuendorffer S., Noguera J., Vissers K., Zhiru Z. High-Level Synthesis for FPGAs: From Prototyping to Deployment. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 2011, vol. 30, no. 4, p. 473–491. DOI 10.1109/TCAD. 2011.2110592
- 5. Chang K. H. Product Design Modeling Using CAD/CAE. Elsevier, 2014.
- 6. Watts F. B. Engineering Documentation Control Handbook. Elsevier, 2012.
- 7. **Davidow W. H., Malone M. S.** The Virtual Corporation: Structuring and Revitalizing the Corporation for the 21<sup>st</sup> Century. New York: HarperCollins, 1992.
- 8. **Воронин А. А.**, **Губко М. В.**, **Мишин С. П.**, **Новиков Д. А.** Математические модели организаций. М.: URSS, 2008.
  - **Voronin A. A.**, **Gubko M. V.**, **Mishin S. P.**, **Novikov D. A.** Matematicheskie modeli organizatisiy [Mathematical models of organizations]. Moscow, URSS Publ., 2008. (in Russ.)
- 9. **Кульга К. С.**, **Кривошеев И. А.** Модели и методы создания интегрированной системы для автоматизации технической подготовки и управления авиационным и машиностроительным производством: Монография. М.: Машиностроение, 2011.
  - **Kulga K. S.**, **Krivosheev I. A.** Modeli i metody sozdaniya integrirovannoy sistemy dlya avtomatizatsii tekhnicheskoy podgotovki i upravleniya aviatsionnym i mashinostroitelnym proizvodstvom: monografiya [Models and methods for creating an integrated system for the automation of technical training and management of aviation and engineering production: a monograph]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2011. (in Russ.)
- 10. **Краснянский М. Н.** Проектирование информационных систем управления документо-оборотом научно-образовательных учреждений. Тамбов: ТГТУ, 2015.
  - **Krasnyanskiy M. N.** Proektirovanie informatsionnykh sistem upravleniya dokumentooborotom nauchno-obrazovatelnykh uchrezhdeniy [Designing information systems for document management of scientific and educational organizations]. Tambov, Tambov State Technical University Publ., 2015. (in Russ.)
- 11. **Ghosh J.** Optimal Information Production in Product Development Environments: A Model With Simulations. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2013, vol. 60, no. 3, p. 604–616. DOI 10.1109/TEM.2012.2233743
- 12. **Yang Q.**, **Yao T.**, **Lu T.**, **Zhang B.** An Overlapping-Based Design Structure Matrix for Measuring Interaction Strength and Clustering Analysis in Product Development Project. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2014, vol. 61, no. 1, p. 159–170. DOI 10.1109/TEM.2013.2267779
- 13. **Browning T. R.** Design Structure Matrix Extensions and Innovations: A Survey and New Opportunities. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2016, vol. 63, no. 1, p. 27–52. DOI 10.1109/TEM.2015.2491283

- 14. **Матвеев В. Ф.**, **Ушаков В. Г.** Системы массового обслуживания. М.: МГУ, 1984. **Matveev V. F.**, **Ushakov V. G.** Sistemy massovogo obsluzhivaniya [Queuing systems]. Moscow, Moscow State University Publ., 1984. (in Russ.)
- 15. **Shampine L. F. and Reichelt M. W.** The MATLAB ODE Suite. *SIAM Journal on Scientific Computing*, 1997, vol. 18, no. 1, p. 1–22. DOI 10.1137/S1064827594276424

Материал поступил в редколлегию Received 09.04.2019

# Сведения об авторах / Information about the Authors

- **Дрозд Олег Владимирович**, аспирант кафедры «Информационные технологии на радиоэлектронном производстве», Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет (ул. Киренского, 26Б, Красноярск, 660074, Россия)
- **Drozd Oleg Vladimirovich**, Graduate Student of the Department of Information Technologies on Radio-Electronic Production, School of Space and Information Technology, Siberian Federal University (26B Kirensky Str., Krasnoyarsk, 660074, Russian Federation) odrozd@sfu-kras.ru
- **Ченцов Сергей Васильевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Систем автоматики, автоматизированное управление и проектирование», Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет (ул. Киренского, 26Б, Красноярск, 660074, Россия)
- Chentsov Sergey Vasilevich, Doctor of Technical Science, professor, head of the Department of Systems of Automatic Equipment, Automated Management and Design, School of Space and Information Technology, Siberian Federal University (26B Kirensky Str., Krasnoyarsk, 660074, Russian Federation)

schentsov@sfu-kras.ru

- **Капулин** Денис Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Информационные технологии на радиоэлектронном производстве», Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет (ул. Киренского 26 Б, Красноярск, 660074, Россия)
- **Kapulin Denis Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, head of the Department of Information Technologies in Radioelectronic Production, School of Space and Information Technology, Siberian Federal University (26B Kirensky Str., Krasnoyarsk, 660074, Russian Federation)

dkapulin@ sfu-kras.ru