

УДК 004.75.05

**К.А. БОХАН, М.С. ХУДОЛЕЙ***Национальный аэрокосмический университет им. М.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОЧЕРЕДЕЙ ЗАПРОСОВ СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ВРЕМЕННЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ С ПРИОРИТЕТАМИ

*Предлагается методика представления очередей запросов сервис-ориентированных систем с заданными параметрами, такими как длина очереди, дисциплина обслуживания и время ожидания. Методика обеспечивает более адекватное представление очередей запросов сервис-ориентированных систем в виде сети Петри за счет возможности управления наиболее важными параметрами очередей запросов. Предлагаемая методика основана на временных сетях Петри с приоритетами. Однако, эта методика позволяет строить сети Петри только для очередей запросов с безприоритетными линейными дисциплинами обслуживания, которые широко распространены на практике.*

**Ключевые слова:** очередь запросов, дисциплина обслуживания, время ожидания, сервис-ориентированная система, сети Петри.

### Введение

Сервис-ориентированные системы [1] состоят из набора веб-сервисов, которые развернуты на одном или нескольких серверах приложений. Неотъемлемой частью любого сервера приложений является очередь запросов (рис. 1). Очередь запросов предназначена для временного хранения запросов, пока все экземпляры веб-сервиса заняты обработкой других запросов.

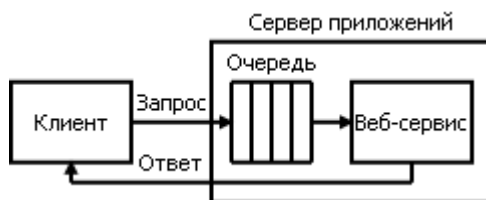


Рис. 1. Обобщенная структурная схема сервис-ориентированной системы

Параметры очереди запросов влияют на поведение веб-сервиса, а значит и на поведение всей сервис-ориентированной системы в целом. Поэтому в задачах моделирования веб-сервисов и сервис-ориентированных систем важно иметь возможность управления параметрами очередей запросов.

К основным параметрам очереди запросов относятся:

1. Длина очереди – максимальное количество запросов, которые могут ожидать обработки веб-сервисом. При заполненной очереди последующие запросы получают отказ в обработке.

2. Дисциплина обслуживания – правило, по которому извлекаются запросы из очереди. Дисциплины

обслуживания делятся на безприоритетные (линейные, циклические) и приоритетные (с фиксированным приоритетом, с динамическим приоритетом). В данной статье рассматриваются только безприоритетные линейные дисциплины обслуживания, так как эти дисциплины широко распространены на практике:

FIFO (First In, First Out) / FCFS (First-Come, First-Served) – обработка запросов в порядке поступления;

LIFO (Last In, First Out) / LCFS (Last-Come, First-Served) – обработка запросов в обратном порядке;

RAND (Random) – обработка запросов в случайном порядке.

3. Время ожидания – максимальное время, которое запрос может ожидать обработки веб-сервисом в очереди. По истечению данного времени запрос покидает очередь и получает отказ в обработке.

Анализ существующих подходов к моделированию очередей запросов показал, что в большинстве случаев модели предоставляют возможность управления только одним параметром – длиной очереди [2-11]. Совсем небольшое количество моделей предоставляет возможность так же управлять параметром – дисциплина обслуживания [5, 6]. Параметр – время ожидания – практически не используется в известных методиках моделирования очередей запросов, хотя он так же влияет на функционирование очереди запросов и соответственно на поведение веб-сервиса.

**Целью данной работы** является разработка методики построения сети Петри для очередей за-

просов сервис-ориентированных систем с возможностью задания и управления такими параметрами очередей запросов как длина очереди, дисциплина обслуживания и время ожидания.

### 1. Представление очередей запросов в виде сетей Петри

Сети Петри на рис. 2 иллюстрирует модель очереди запросов без заданных параметров. Позиция P1 моделирует условие: заявка ждет. Переходы моделируют следующие события: T1 помещение заявки в очередь; T2 извлечение заявки из очереди.

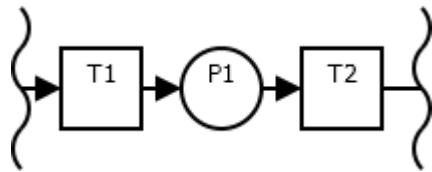


Рис. 2. Сеть Петри для очереди запросов без параметров

Сеть Петри на рис. 3 иллюстрирует модель очереди запросов с заданной длиной очереди  $m$ . Позиции моделируют следующие условия: P1 очередь свободна (фишками в данной позиции определяется текущее количество свободных мест в очереди); P2 заявка ждет. Переходы моделируют сле-

дующие события: T1 помещение заявки в очередь; T2 извлечение заявки из очереди.

Данные модели очереди запросов пользуются большой популярностью при решении задач моделирования в различных областях компьютерной науки и инженерии, так как они характеризуются простотой реализации.

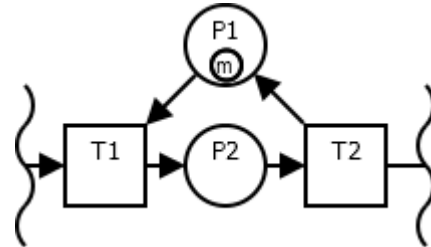


Рис. 3. Сеть Петри для очереди запросов с заданной длиной очереди  $m$

Сеть Петри на рис. 4 иллюстрирует модель очереди запросов с заданной длиной очереди  $m$  и дисциплиной обслуживания FIFO [5, 6]. Позиции моделируют следующие условия: P1.x место  $x$  свободно (фишки в данных позициях определяют текущее состояние мест в очереди); P2.x заявка ждет в месте  $x$ . Переходы моделируют следующие события: T1 помещение заявки в конец очередь; T2-Tm перемещение заявки по местам очереди (с конца в начало); Tm+1 извлечение заявки из начала очереди.

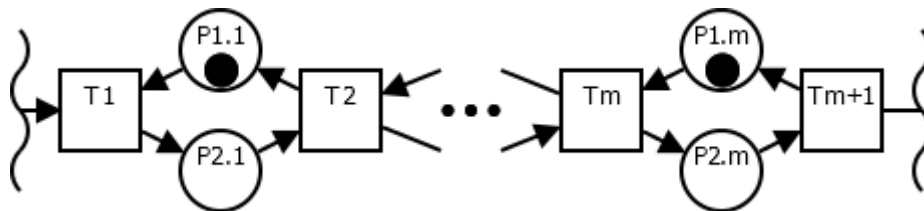


Рис. 4. Сеть Петри для очереди запросов с заданной длиной очереди  $m$  и дисциплиной обслуживания FIFO

Сеть Петри на рис. 5 иллюстрирует модель очереди запросов с заданной длиной очереди  $m$  и дисциплиной обслуживания LIFO [5]. Позиции моделируют следующие условия: P1 заявка поступила; P2.x место  $x$  свободно (фишки в данных позициях определяют текущее состояние мест в очереди); P3.x заявка ждет в месте  $x$ ; P4 заявка извлечена из очереди. Переходы моделируют следующие события: T1.x помещение заявки в конец очереди; T2.x извлечение заявки из конца очереди.

Модель очереди запросов с заданной длиной очереди  $m$  и дисциплиной обслуживания RAND совпадает с моделью очереди запросов на рис. 3, так как по умолчанию в сетях Петри переходы извлекают фишки из позиций случайным способом, следо-

вательно, переход T2 извлекает фишки из позиции P2 случайным образом.

### 2. Временные сети Петри с приоритетами

Временные сети Петри [12] это расширение базовых сетей Петри [13], в которых переходы могут обладать весом, определяющим продолжительность срабатывания (задержку). Сеть Петри с приоритетами [13] это расширение базовых сетей Петри, в которых переходам могут быть поставлены приоритеты. Механизм назначения приоритетов может устанавливать порядок срабатывания переходов при возникновении конфликтов.

Временные сети Петри с приоритетами это сети Петри, которые включает в себе особенности, как временных сетей Петри, так и сетей Петри с приоритетами.

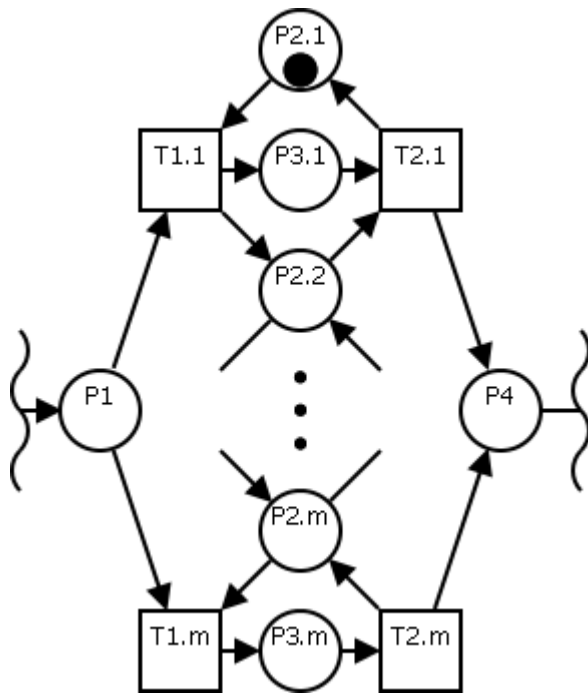


Рис. 5. Сеть Петри для очереди запросов с заданной длиной очереди  $m$  и дисциплиной обслуживания LIFO

Формальное определение временной сети Петри с приоритетами выглядит следующим образом:

$$\{P, T, Pre, Post, W, \Pi, m_0\},$$

где  $P$  – множество состояний;

$T$  – множество переходов;

$P \cap T = \emptyset$ ;

$Pre : P \times T \rightarrow N$  входная функция;

$Post : T \times P \rightarrow N$  выходная функция;

$W : T \rightarrow N$  весовая функция, которая определяет продолжительность срабатывания переходов;

$\Pi : T \rightarrow N$  функция приоритетов срабатывания переходов;

$m_0 : P \rightarrow N_0$  начальная разметка сети;

$N$  – множество натуральных чисел.

Компоненты графической формы временной сети Петри с приоритетами представлены на рис. 6.

### 3. Методика построения сети Петри для очередей запросов

На примере GlassFish Server 3 [14] рассмотрим, как на практике реализуются очереди запросов с параметром – время ожидания. GlassFish Server 3 использует технологию Java NIO [15]. В данной

технологии реализован механизм, который проверяет значения времени ожидания всех подключений в бесконечном цикле. Для уменьшения нагрузки на центральный процессор, в GlassFish Server 3 используется специальная задержка (Selector Poll Timeout), которая по умолчанию имеет значение 1 секунда и определяет интервал между проверками значения времени ожидания всех подключений в очереди запросов.

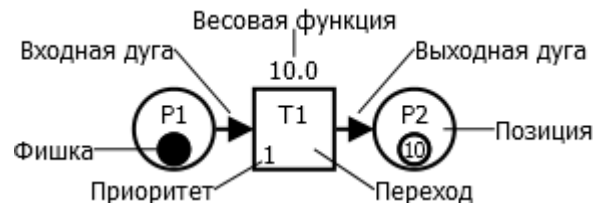


Рис. 6. Графическое представление временной сети Петри с приоритетами

С учетом описанных выше особенностей практической реализации очередей запросов предлагается следующая методика построения сетей Петри для очередей запросов с возможностью задания и управления такими параметрами очередей запросов как длина очереди, дисциплина обслуживания и время ожидания.

1. Время ожидания представляется как последовательность интервалов длиной  $\Delta t$  (рис. 7.). В начале и после каждого участка выполняется проверка на возможность извлечение запроса из очереди запросов, проверка представлена событием – извлечение заявки из очереди. По истечению времени ожидания заявка покидает очередь и получает отказ в обслуживании.

Для примера, при моделировании очереди запросов сервера приложений GlassFish Server 3, по умолчанию  $\Delta t$  будет равна 1 секунда, а количество интервалов будет равно 30.

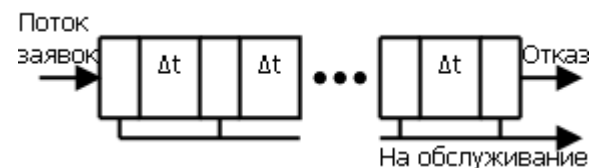


Рис. 7. Представление времени ожидания

2. Задание и управление параметром дисциплины обслуживания заключается в присвоении соответствующих приоритетов событиям, которые представляют извлечение заявки из очереди. Для FIFO – заявка, пришедшая самой первой, имеет наивысший приоритет, для LIFO – заявка, пришедшая самой последней, имеет наивысший приоритет, для RAND – все заявки имеют одинаковый приоритет.

3. Задание и управление параметром длина очереди реализуется в модели с помощью дополнительного условия – очередь свободна.

Сеть Петри на рис. 8 иллюстрирует модель очереди запросов с заданной длиной очереди  $m$ , дисциплиной обслуживания FIFO/LIFO/RAND и временем ожидания  $\Delta t \cdot n$ . Позиции моделируют следующие условия: P1 очередь свободна (фишками в данной позиции определяется текущее количество свободных мест в очереди); P2.x заявка ждет и имеет время ожидания  $\Delta t \cdot (x-1)$ ; P3 заявка

получила отказ в обслуживании из-за превышения времени ожидания; P4 экземпляр веб-сервиса свободен (фишками в данной позиции определяется текущее количество свободных экземпляров сервиса); P5 заявка извлечена из очереди. Переходы моделируют следующие события: T1 помещение заявки в конец очереди; T2.x увеличение времени ожидания на  $\Delta t$ ; T3.x извлечение заявки из очереди по правилу дисциплины обслуживания; T4 извлечение заявки из очереди которая превысила время ожидания.

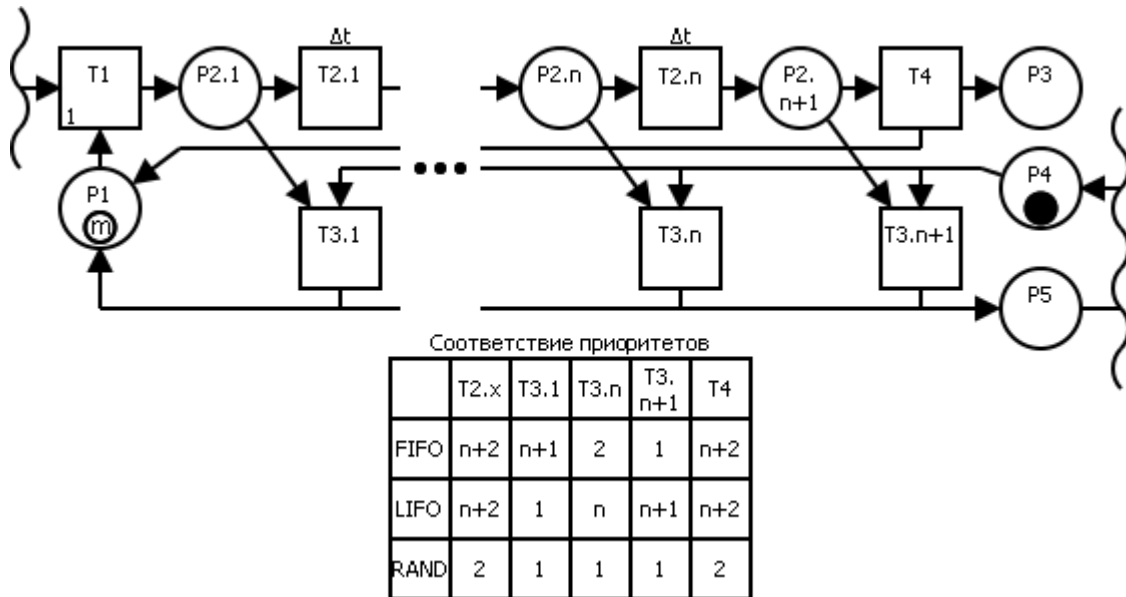


Рис. 8. Сеть Петри для очереди запросов с заданной длиной очереди  $m$ , дисциплиной обслуживания FIFO/LIFO/RAND и временем ожидания  $\Delta t \cdot n$

#### 4. Имитационное моделирование очередей запросов в среде CPN Tools

Цель данного имитационного моделирования продемонстрировать, что параметры очереди запросов влияют на поведение веб-сервиса. Выполним имитационное моделирование некоторого корпоративного веб-сервиса, представленного в виде стохастической иерархической сети Петри [16]. Данная модель содержит подсеть Петри, реализующую очередь запросов и построенную в соответствии с методикой, описанной в предыдущем разделе. Имитационное моделирование проводилось в среде CPN Tools [17].

Параметры модели: время между заявками 1 секунда; время обслуживания 3 секунды; количество экземпляров веб-сервиса 2; размер очереди 10/30/50; количество заявок 100; дисциплина об-

служивания FIFO/LIFO; время обслуживания 30/60/90. Имитационное моделирование повторялось 100 раз для каждого набора параметров. Результаты имитационного моделирования представлены в табл. 1, 2.

Запись  $x/y/z$  в таблицах означает:  $x$  – обслуженные заявки;  $y$  – отказ в обслуживании из-за превышения времени ожидания;  $z$  – отказ в обслуживании из-за переполнения очереди.

Следует отметить, если не учитывать параметры очереди запросов результат всегда будет **100/0/0**. Но как видно из результатов моделирования модели, если учитывать параметры очереди запросов, характеристики веб-сервиса различаются, следовательно, параметры очередей запросов значительно влияют на поведение веб-сервисов и их игнорирование в моделях веб-сервисов может привести к недостоверным результатам моделирования.

Таблица 1

Динамика системы с дисциплиной обслуживания FIFO

Длина очереди \ Время ожидания	10	30	50
30	76/0/24	87/12/1	87/13/0
60	76/0/24	96/0/4	100/0/0
90	76/0/24	96/0/4	100/0/0

Таблица 2

Динамика системы с дисциплиной обслуживания LIFO

Длина очереди \ Время ожидания	10	30	50
30	73/24/3	74/26/0	74/26/0
60	76/9/15	80/20/0	80/20/0
90	73/6/21	86/13/1	87/13/0

### Заключение

Неотъемлемой частью любого сервера приложений является очередь запросов. Очередь запросов обладает рядом параметров, которые могут повлиять на прогнозируемые характеристики веб-сервисов и сервис-ориентируемой системы. Поэтому в задачах моделирования веб-сервисов и сервис-ориентированных систем важно учитывать параметры очередей запросов.

В данной работе предлагается методика построения сетей Петри для очереди запросов, которая обеспечивает более адекватное представление очередей запросов сервис-ориентированных систем в виде сети Петри за счет возможности управления наиболее важными параметрами очередей запросов. Методика основана на временных сетях Петри с приоритетами.

В тоже время существует ограничение на применение данной методики связанное с тем, что методика позволяет строить сети Петри только для очередей запросов с бесприоритетными линейными дисциплинами обслуживания, которые широко распространены на практике.

### Литература

1. Богданов, А.В. *Сервис-ориентированная архитектура: новые возможности в свете развития Grid технологий [Текст]* / А.В. Богданов, Е.Н. Станкова, В.В. Мареев. – СПб.: Институт высокопроизводительных вычислений и интегрированных систем, 2008. – 32 с.
2. Ajmone Marsan, M. *Stochastic petri nets: An elementary introduction [Text]* / M. Ajmone Marsan // *Lecture Notes in Computer Science*. – 1990. – V. 424. – P. 1 – 29.
3. Colombo, A.G. *Systems Reliability Assessment [Text]* / A.G. Colombo, A. Saiz de Bustamante. – Springer, 1990. – 324 p.
4. *Modelling with Generalized Stochastic Petri Nets [Text]* / M. Ajmone Marsan, G. Balbo, G. Conte, S. Donatelli, G. Franceschinis. – John Wiley & Sons, 1995. – 324 p.
5. Guixiu Qiao *Simulation system modeling for mass customization manufacturing [Text]* / Guixiu Qiao, C. McLean, F. Riddick // *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*. – V. 2. – P. 2031 – 2036.
6. Bause, F. *Stochastic Petri nets: an introduction to the theory [Text]* / F. Bause, Pieter S. Krizinger. – Friedrich Vieweg & Sohn Verlag, 2002. – 223 p.
7. Capek, J. *Petri Net Simulation of Non-deterministic MAC Layers of Computer Communication Networks [Text]* / J. Capek. – Praha: Ceske vysoke uceni technicke v Praze, 2001. – 155 p.
8. Salfner, F. *A Queuing Model for Service Availability of Systems with Rejuvenation [Text]* / F. Salfner, K. Wolter // *Software Reliability Engineering Workshops*. – 2008. – P. 1 – 5.
9. Retchkiman, Z. *Modeling and Stability Analysis for a Class of Queuing Systems by Means of Timed Petri Nets, Lyapunov Methods and Max-Plus Algebra [Text]* / Z. Retchkiman // *International Mathematical Forum*. – 2011. V. 6. – P. 1457 – 1476.
10. Samolej, S. *Simulation and Performance Analysis of Distributed Internet Systems Using TCPNs [Text]* / S. Samolej, T. Rak // *Informatica Slovenia*. – 2009. – V. 33. – P. 405 – 415.
11. Kounev, S. *On the Use of Queueing Petri Nets for Modeling and Performance Analysis of Distributed Systems [Text]* / S. Kounev, A. Buchman // *Petri Net, Theory and Applications* / V. Kordic. – Vienna, Austria: I-Tech Education and Publishing, 2008. – P. 149 – 178.
12. Popova-Zeugmann, L. *Time Petri Nets: Theory, Tools and Applications [Text]* / L. Popova-Zeugmann. – Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin Department of Computer Science, 2008. – 131 p.
13. Котов, В.Е. *Сети Петри [Текст]* / В.Е. Котов. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 160 с.

14. Heffelfinger, D. *Java EE 6 with GlassFish 3 Application Server* [Text] / D. Heffelfinger. – Packt Publishing, 2010. – 489 p.

15. Hitchens, R. *Java NIO* [Text] / R. Hitchens. – O'Reilly Media, 2002. – 275 p.

16. Бохан, К.А. *Модели корпоративных сервисов на основе иерархических сетей Петри* [Текст] /

К.А. Бохан, М.С. Худoley // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – Вып. 6 (47). – С. 36 – 41.

17. Бохан, К.А. *Анализ сетей Петри в среде моделирования CPN Tools* [Текст] / К.А. Бохан, М.С. Худoley // *Системы обработки информации*. – 2010. – Вып. 8(89). – С. 45–51.

Поступила в редакцию 12.03.2012

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

### ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЧЕРГ ЗАПИТІВ СЕРВІС-ОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ ПЕТРИ, ЯКІ ВРАХОВУЮТЬ ПРІОРИТЕТ ТА ДИНАМІКУ ЧАСУ

*К.О. Бохан, М.С. Худолій*

Пропонується методика представлення черг запитів сервіс-орієнтованих систем із заданою довжиною черги, дисципліною обслуговування і часом очікування. Методика забезпечує адекватніше представлення черг запитів сервіс-орієнтованих систем у вигляді мережі Петрі за рахунок можливості управління найбільш важливими параметрами черг запитів. Запропонована методика заснована на мережах Петрі, які враховують пріоритет та динаміку часу. Однак ця методика дозволяє будувати мережі Петрі тільки для черг запитів з бесперіоритетними лінійними дисциплінами обслуговування, які широко поширені на практиці.

**Ключові слова:** черга запитів, дисципліна обслуговування, час очікування, сервіс-орієнтована система, мережі Петрі.

### REPRESENTATION SERVICE-ORIENTED SYSTEMS REQUESTS QUEUE BASED ON TIME PETRI NETS WITH PRIORITY

*K.A. Bokhan, M.S. Khudoley*

This paper proposes a method for representation service-oriented systems requests queue with given queue length, discipline and timeout. The method provides more adequate representation requests queue in Petri nets form by allowing management most important requests queue parameters. The method is formulated as a time Petri net with priority. However, this technique allows us to construct Petri nets for the request queue with linear service discipline becprioritetnymi that are prevalent in practice.

**Key words:** requests queue, queuing discipline, timeout, service-oriented system, Petri nets.

**Бохан Константин Александрович** – канд. техн. наук, доцент кафедры компьютерных систем и сетей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: dr\_kstin@ukr.net.

**Худoley Максим Сергеевич** – аспирант кафедры Компьютерных систем и сетей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.