

УДК 004.75.05

К.А. БОХАН, М.С. ХУДОЛЕЙ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

## МОДЕЛИ КОРПОРАТИВНЫХ СЕРВИСОВ НА ОСНОВЕ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Представлена структура корпоративных сервисов. Рассмотрены существующие решения задачи анализа эффективности корпоративных информационных систем (КИС). Предлагается подход к построению моделей и исследованию показателей эффективности сервисов КИС, основанный на иерархических стохастических сетях Петри. Рассматривается простейший случай взаимодействия компонент, которое представляет собой последовательный вызов методов классов. Предлагаемый подход позволяет исследовать сервисы с учетом их архитектурных особенностей и многоуровневой компонентной структуры.

**Ключевые слова:** сервис, сервис-ориентированная архитектура, модель, сеть Петри, производительность.

### Введение

Современные корпоративные информационные системы строятся на основе сервис-ориентированного подхода и представляют собой набор слабосвязанных сервисов, реализующих различные корпоративные бизнес-процессы. В свою очередь, корпоративные сервисы состоят из множества связанных компонент (рис. 1). Структура межкомпонентных

связей может быть достаточно сложной, а сами компоненты могут быть распределенными.

Важным преимуществом сервис-ориентированного подхода является возможность формирования новых сервисов на базе существующих – так называемая композиция сервисов. В данном случае одни сервисы являются компонентами других сервисов. Данная возможность обеспечивает функциональную расширяемость КИС за счет составных сервисов.

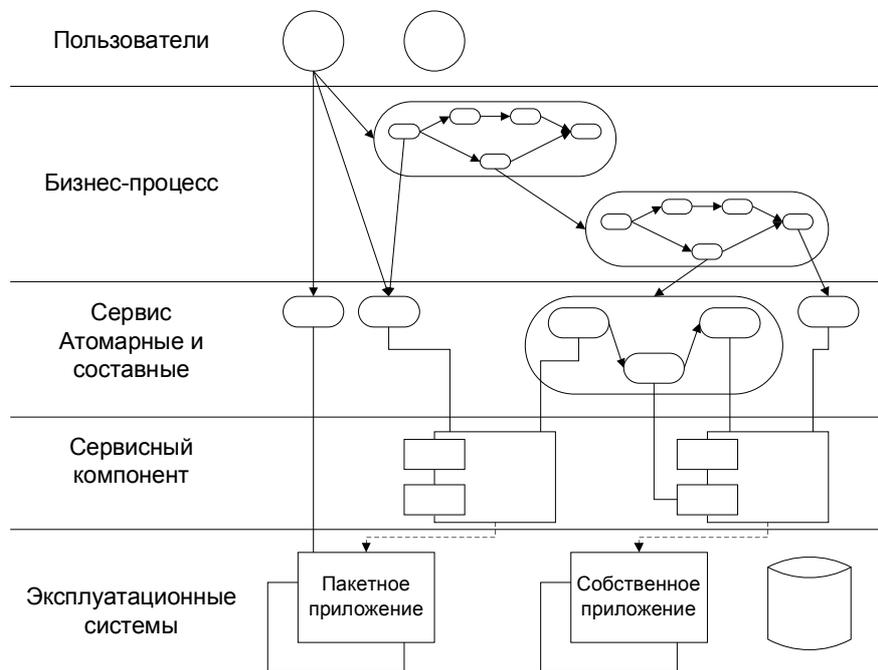


Рис. 1. Сервис-ориентированная архитектура корпоративных информационных систем

При разработке и реинжиниринге таких систем актуальной задачей является анализ и оценка различных показателей эффективности, например, про-

изводительности, пропускной способности, гаранто- способности и др., а также моделирование поведение системы в различных ситуациях. Для решения

указанных задач широко применяются различные формальные методы и математическое (имитационное) моделирование информационных систем. Среди них можно выделить следующие инструменты: сети Петри, системы массового обслуживания (СМО), автоматные модели, а также их комбинации. Например, из анализа моделей на базе сетей Петри можно получить важную информацию о структуре, производительности и динамическом поведении моделируемой системы. Эта информация будет полезна для оценки моделируемой системы и выработки предложений по её усовершенствованию.

Ввиду актуальности задачи анализа эффективности КИС было предложено множество различных решений, которые, в основном, базируются на аппарате сетей Петри. Среди них можно выделить следующие решения:

1. Различные вариации моделей КИС на базе сетей Петри с очередями [1]. Недостатком данного подхода является проблема широты – увеличение очередей и маркеров приводит к увеличению состояний по экспоненте. Это налагает ограничения на размер и сложность исследуемой системы. Попытка решить эту проблему привела к введению иерархии в сетях Петри с очередями [2];

2. Множество различных методов и моделей, основанных на использовании стохастических и цветных сетей Петри [3 – 5];

3. Методы, основанные на автоматных моделях [6].

Основным недостатком указанных решений является то, что авторы не учитывают достаточно сложную компонентную структуру корпоративных сервисов и оценивают показатели производительности только с учетом параметров аппаратного уровня (количества процессоров, объема памяти и т. д.).

**Целью данной работы** является построение модели корпоративных сервисов на основе иерархических стохастических сетей Петри, которые учитывают

компонентную структуру корпоративных сервисов на различных уровнях.

## 1. Представление корпоративных сервисов в виде иерархических стохастических сетей Петри

Основная идея подхода заключается в построении моделей корпоративных сервисов в виде множества уровней. Самый верхний уровень представляет корпоративный сервис в целом. В дальнейшем данный уровень будем называть уровнем сервиса и обозначать  $L_0^{S1}$ , где S1 – идентификатор рассматриваемого сервиса. На данном уровне определяются свойства потока заявок, поступающих на сервис, общие параметры сервиса, такие как количество одновременно обрабатываемых заявок, параметры очереди заявок и др. Следующий уровень представляет компонентную структуру корпоративного сервиса. На данном уровне определяются состав и связи компонент. В дальнейшем данный уровень будем называть n-м уровнем компонент и обозначать  $L_n^{S1}$ . Компоненты на данном уровне сами могут быть сервисами, если исходный сервис является составным. Поэтому следующий уровень  $L_{n+1}^{S1}$  будет представлять компонентную структуру сервисов предыдущего уровня  $L_n^{S1}$ . И так далее, пока не получим уровень, состоящий только из «простых» компонент.

Рассмотрим подробнее методику построения иерархической модели корпоративного сервиса.

## 2. Уровень сервиса

Пусть существует некая корпоративная информационная система, состоящая из N сервисов (рис. 2).

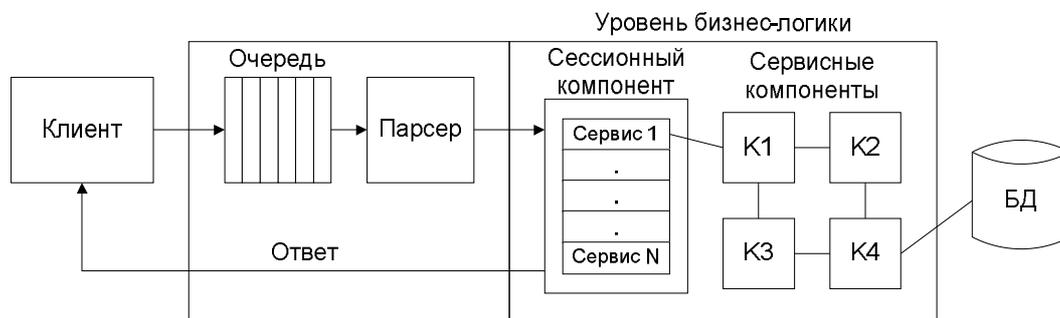


Рис. 2. Структура сервисов корпоративной информационной системы

Каждый сервис работает в соответствии со следующим алгоритмом:

1) получение запроса от клиента и размещение его в очереди;

2) парсинг запроса: получение названия вызываемого сервиса и аргументов, которые ему передаются;

3) вызов сервиса – в процессе работы сервиса происходит последовательный вызов методов компо-

нент, составляющих сервис и, соответственно, изменение состояний самих компонент и системы в целом;

4) получение результата обработки запроса сервисом и отправка его клиенту.

В зависимости от возможностей программно-аппаратной платформы, на которой развернут сервис, возможен запуск некоторого множества экземпляров данного сервиса, что позволяет выполнять одновременную обработку множества запросов.

Как видно, сервисы КИС соответствуют концепции СМО. Поэтому сервис можно представить в виде СМО со следующими характеристиками:

$$G/G/M/Z,$$

где:

– входной поток заявок – произвольный и задается в зависимости от целей и задач исследования сервисов КИС;

– процесс обслуживания заявок зависит от компонентной структуры сервиса, удаленности компонент, а так же программно-аппаратной платформы, на которой развернуты компоненты;

– количество каналов обслуживания  $M$  – соответствует количеству одновременно обрабатываемых запросов и определяется возможностями программно-аппаратных средств (операционная система, характеристики сервера приложений и т.д.). Данный параметр может регулироваться системным администратором;

– длина очереди  $Z$  – определяется возможностями программно-аппаратных средств (операционная система, характеристики сервера приложений и т.д.). Данный параметр может регулироваться системным администратором;

- дисциплина обслуживания: в порядке очереди;
- характер организации: с ожиданиями;
- свойства каналов: однородные.

На рис. 3 представлен общий вид СМО одного сервиса (С1) корпоративной информационной системы.

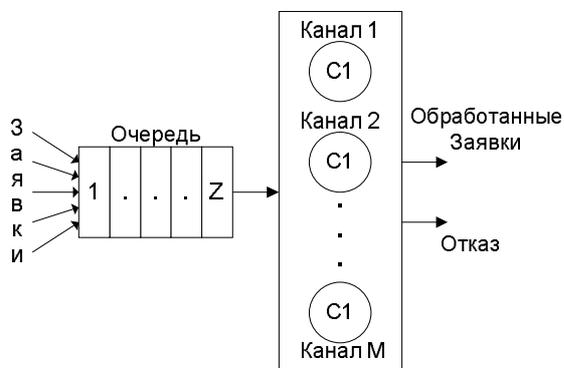


Рис. 3. СМО сервиса С1

Для анализа полученной СМО возможны следующие подходы.

1. Представление СМО в виде графа состояний [7]. Данный подход позволяет определить модель системы в виде множества состояний, которые можно связать с физическими состояниями ее компонент. Недостатки данного подхода связаны со сложностью представления параллельных процессов, необходимостью обладать сведениями о вероятностях начального состояния и переходов между состояниями. Характеризуется высокой сложностью при большом количестве состояний системы.

2. Представление СМО в виде стохастической сети Петри [8]. Данный подход позволит описать поведение СМО, учитывая как компонентную структуру сервиса, так и параллельные процессы, выполняемые при работе сервиса.

Таким образом, уровень сервиса модели корпоративного сервиса будем представлять в виде стохастической сети Петри, которая задается кортежем вида [3, 9]:

$$SNP = \langle P, T, \Gamma, \Gamma^+, m_0 \rangle,$$

где  $P$  – множество позиций, каждая из позиций соответствует этапу процесса обработки запроса на уровне сервиса;  $T$  – множество переходов, таких что:

$E \subseteq T$  – множество переходов со случайными временными задержками;

$Z \subseteq T$  – множество мгновенных переходов с временной задержкой, равной 0;

$$P \cap T = \emptyset, Z \cap E = \emptyset, T = E \cup Z;$$

$\Gamma, \Gamma^+ : P \times T \rightarrow \mathbb{N}$  – входная и выходная функции;

$m_0$  – функция, задающая начальную разметку сети Петри.

На рис. 4 представлена сеть Петри уровня сервиса, где  $P1$  – маркер в данной позиции соответствует готовности источника заявок (клиента) к выдаче очередной заявки;  $P2$  – данная позиция определяет очередь, состояние ограничено:  $K(P2)=Z$ ;  $P3$  – маркеры в данной позиции определяют наличие свободного канала;  $P4$  – заявка обрабатывается сервисом;  $P5$  – маркеры в данной позиции моделируют обработанные заявки (ответ);  $T1$  – переход, который работает в соответствии с моделью потока заявок;  $T2$  – моделирует запуск сервиса;  $T3$  – составной переход, который включает в себя подсеть Петри нижнего уровня.

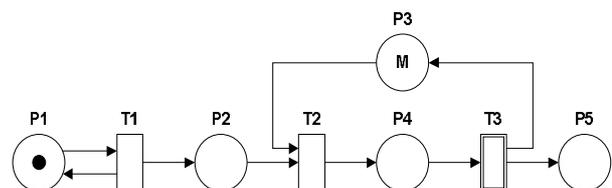


Рис. 4. Сеть Петри уровня сервиса

Параметры данного перехода определяются на основе анализа сети Петри, которая содержится в данном переходе.

### 3. Уровни компонент

Как ранее указывалось, каждый сервис представляет собой сложную компонентную структуру, например, набор классов, которые взаимодействуют посредством вызова методов друг друга.

В данной работе рассматривается простейший случай взаимодействия компонент, которое представляет собой последовательный вызов методов. При этом ветвления и конкуренция отсутствуют.

Далее будем такие сервисы называть сервисами с линейной структурой. На рис. 5 и 6 приведен условный набор компонент для сервисов C1 и C2, представленный в виде диаграмм UML.

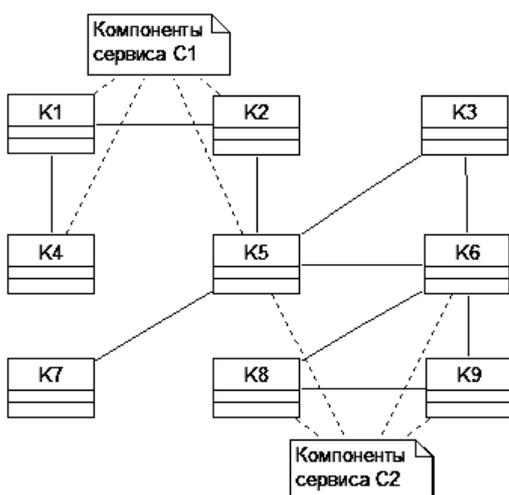


Рис. 5. Диаграмма классов сервисов C1 и C2

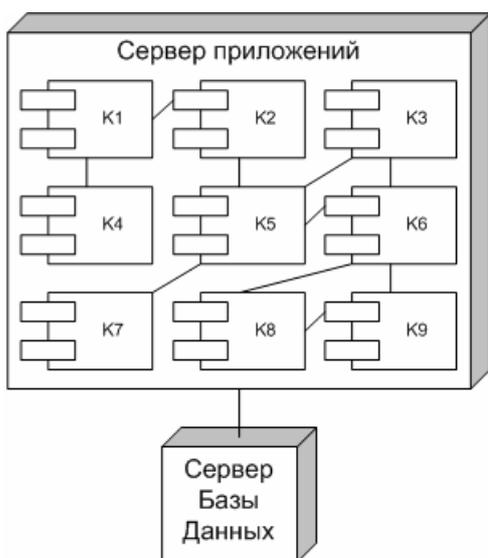


Рис. 6. Диаграмма развертывания компонент сервиса

Взаимодействие компонент так же может быть представлено диаграммами языка UML. Так, например, диаграмма последовательности сервиса C1 может иметь вид, приведенный на рис. 7: T1 – начало обработки заявки, T2-T5 – некие вызовы методов компонент, T6-T8 – возврат результата в вызывающую функцию.

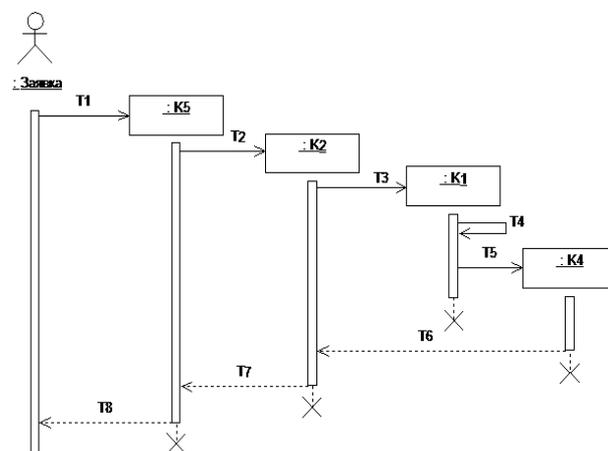


Рис. 7. Диаграмма последовательности сервиса C1

Как видим, из UML диаграмм может быть получена информация о компонентной структуре сервиса. Таким образом, построение модели уровня компонент может быть реализовано с помощью трансляции определенных UML диаграмм в сеть Петри.

Полученная сеть Петри и будет представлять модель уровней компонент.

На рис. 8 представлена сеть Петри уровня компонент для сервиса с линейной компонентной структурой.

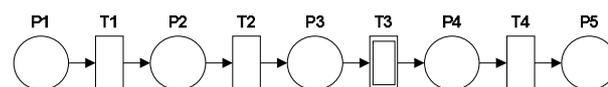


Рис. 8. Сеть Петри уровня компонент

При построении модели уровня компонент следует руководствоваться следующими правилами:

- 1) переходы сети Петри отображают вызовы методов компонент, которые представлены классами на UML диаграммах;
- 2) позиции сети Петри отображают наборы состояний переменных в классах до и после вызова методов;

Например, переходы T1-T5 отображают действия T1-T5 на диаграмме последовательности (рис. 7). Позиции P1-P5 отображают состояния компонент сервиса.

Переходы обладают свойством не детерминированности, так как время вызова метода, которое может так же включать создание экземпляра компонента, является случайной величиной. Кроме этого,

в случае удаленного взаимодействия компонент переходы могут моделировать удаленный вызов процедур. Таким образом, полученная сеть Петри уровня компонент так же является стохастической.

Некоторые компоненты на данном уровне ( $L_n^{SI}$ ) сами могут быть сервисами или составными компонентами. В данном случае необходимо построить модель следующего  $L_{n+1}^{SI}$  уровня, которая будет определять свойства соответствующего перехода.

Так, например, если вызов метода T3 представляет собой вызов сервиса следующего уровня иерархии, то по аналогии с описанной выше методикой, строится сеть Петри для уровня компонент  $L_{n+1}^{SI}$ .

В результате применения описанной методики получим иерархическую стохастическую сеть Петри, с помощью которой можно выполнить исследование сервиса КИС (рис. 9).

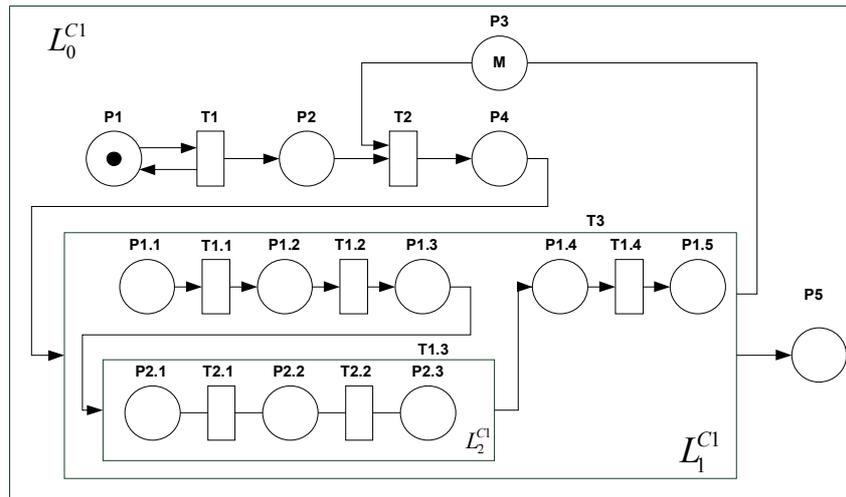


Рис. 8. Иерархическая стохастическая сеть Петри для сервиса КИС

## Заключение

С помощью описанной методики построения модели сервиса КИС возможно получение моделей как для существующих корпоративных сервисов так и для прототипов, представленных в виде UML диаграмм.

Используя модели корпоративных сервисов на основе иерархической стохастической сети Петри возможно решение следующих задач:

1) верификация и тестирование корпоративных сервисов как существующих, так и прототипов (например, обнаружение возможных блокировок – deadlock и livelock);

2) оценка характеристик производительности корпоративных сервисов:

- среднее время обслуживания заявки;

- определение максимального числа одновременно обрабатываемых заявок (нагрузочное тестирование);

- оценка устойчивости сервисов;

- определение оптимальных параметров функционирования сервиса: длина очереди, количество одновременно запущенных экземпляров сервиса и др.

3) оценка архитектурных решений по различным показателям эффективности;

4) моделирование поведения системы в различных условиях функционирования;

5) формирование требования к аппаратно-программной платформе для обеспечения заданной производительности корпоративного сервиса;

6) прогнозирование изменения показателей эффективности корпоративного сервиса при его реинжиниринге.

Для решения указанных задач возможно применение различных инструментальных средств имитационного моделирования и анализа сетей Петри, среди которых: Time Petri Net Analyzer, MathLab и др.

В тоже время, существует ряд нерешенных проблем, которые пока ограничивают применение описанного подхода. Среди них следует отметить отсутствие адекватных моделей потока запросов, моделей, описывающих локальный и удаленный вызов методов компонент и составных сервисов. Поэтому дальнейшая работа будет посвящено решению указанных проблем.

## Литература

1. Kounev S. Performance modeling and evaluation of large-scale J2EE applications / S. Kounev, A. Buchmann // In Proceedings of the Computer Measurement Group's 2003 International Conference CMG, 2003, Dallas, TX.

2. Kounev S. *SimQPN – A tool and methodology for analyzing queuing Petri net models by means of simulation* / S. Kounev, A. Buchmann // *Performance Evaluation*. – Vol. 63. – Issues 4-5. – May 2006. – P. 364-394.
3. *Modeling and verification of real-time systems: formalisms and software tools* / edited by Nicolas Navet, Stephan Merz // ISTE Ltd and John Wiley & Sons Inc, 2008. – 394 p.
4. Jensen K. *Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency II. Special Issue on Concurrency in Process-Aware Information Systems* / Kurt Jensen, M.P. Wil van der Aalst (Eds.). – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. – 296 p.
5. Balbo G. *Tagged Generalized Stochastic Petri Nets* / Gianfranco Balbo, Massimiliano De Pierro, Giuliana Franceschinis // *6th European Performance Engineering Workshop, EPEW 2009 London, UK*. – July 9-10, 2009. – P. 1-5.
6. Фурманов А.А. Автоматно-графовая модель сервис-ориентированных приложений / А.А. Фурманов // *Радиоелектронні та комп'ютерні системи*. – 2008. – № 6 (33). – С. 66-70.
7. Алиев Т.И. *Основы моделирования дискретных систем* / Т.И. Алиев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
8. Самохвалова С.С. *Теория телетрафика и ее приложения* / С.С. Самохвалова В.В. Крылов. – СПб.: ВHV СПб, 2005. – 288 с.
9. Семенец С.В. *Методы оценки производительности программных систем для мобильных устройств* / С.В. Семенец // *Математичні машини і системи*, 2005. – № 3. – С. 126-134.
10. Котов В.Е. *Сети Петри* / В.Е. Котов – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 160 с.
11. Гладун А.Я. *Вероятностные методы моделирования и анализ производительности Web-сервисов в Internet* / А.Я. Гладун, В.М. Точилин // *Тр. Междунар. конф. по математическому моделированию МКММ-2005*. – Феодосия, 2005. – С. 363-368.
12. Yang YanPing *Verifying Web Services Composition Based on Hierarchical Colored Petri Nets* / Yan-Ping Yang, QingPing Tan, Yong Xiao // *IHIS'05*. – November 4, 2005, Bremen, Germany. – P. 47-54.

Поступила в редакцію 12.01.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАИ», Харків.

#### МОДЕЛІ КОРПОРАТИВНИХ СЕРВІСІВ НА ОСНОВІ ІЄРАРХІЧНИХ МЕРЕЖ ПЕТРІ

*К.О. Бохан, М.С. Худолей*

Представлена структура корпоративних сервісів. Розглянуті існуючі рішення задачі аналізу ефективності корпоративних інформаційних систем (КІС). Пропонується підхід до побудови моделей й дослідження показників ефективності сервісів корпоративних інформаційних систем, який базується на ієрархічних стохастичних мережах Петрі. Розглядається простий випадок взаємодії компонент, яка є послідовним викликом методів класів. Підхід, що пропонується, дозволяє досліджувати сервіси з урахуванням їх архітектурних особливостей і багаторівневої компонентної структури.

**Ключові слова:** сервіс, сервіс-орієнтована архітектура, модель, мережа Петрі, продуктивність.

#### MODEL OF CORPORATE SERVICES BASED ON HIERARCHICAL PETRI NETS

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

In this paper propose an approach for build models of corporate services for corporate information systems (CIS) based on hierarchical stochastic Petri nets. The structure of corporate services is represented. The existent decisions of the task about efficiency analysis of the corporate informative systems (CIS) are considered. Simple case of cooperation of the components, which contains consistent call of methods of the classes, is examined. The proposed approach allows us to analysis services according to their architectural features and multi-level component structure.

**Key words:** service, service-oriented architecture, model, Petri net, productivity.

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

**Худолей Максим Сергеевич** – студент кафедры компьютерных систем и сетей Национального аерокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.