

УДК 62-192:519.2

О. В. ИВАНЧЕНКО¹, В. С. ХАРЧЕНКО²

¹ *Университет таможенного дела и финансов, Украина*

² *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

АНАЛИЗ СТОХАСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ МЕТАМОДЕЛИРОВАНИЯ И ОЦЕНИВАНИЯ ГОТОВНОСТИ ОБЛАЧНЫХ ИНФРАСТРУКТУР

Выполнен анализ стохастических методов, используемых для моделирования поведения и оценки показателей готовности, надежности облачных инфраструктур (ОИ). В качестве фундаментальной основы рассмотрена таксономия метамоделирования ОИ, базирующаяся на концептуальных основах обеспечения производительности, масштабируемости ресурса, экономии энергопотребления и эластичности управления компонентами облачной инфраструктуры. Помимо широко известных методов оценивания с использованием аппарата стохастических сетей Петри, марковских цепей предлагается акцентировать внимание на возможности применения методов полумарковского моделирования, которые способствуют повышению точности оценивания метрик качества предоставляемых услуг (QoS).

Ключевые слова: *облачная инфраструктура, стохастические сети Петри, марковские и полумарковские цепи.*

Постановка проблемы

На сегодняшний день облачные вычисления, реализуемые в корпоративной среде, являются одним из самых перспективных направлений развития современной IT-индустрии. О чем свидетельствуют среднегодовые темпы роста (CAGR) прибыли на рынке облачных сервисов крупнейших компаний Microsoft, IBM, Rackspace, Amazon [1]. Одновременно с ростом экономических показателей предъявляются серьезные требования к обеспечению высокой производительности, доступности и гибкости управления облачными инфраструктурами (ОИ) [2, 3]. На этом фоне актуальной является задача использования известных и разработки новых методов моделирования процессов изменения надежности ОИ. Не менее важной является задача оценки уровня готовности ОИ, решаемая с использованием результатов моделирования поведения различных компонентных составляющих облачных инфраструктур.

Наиболее распространенными направлениями моделирования ОИ являются: 1) моделирование на основе использования стохастических сетей Петри (ССП) [4]; 2) моделирование на основе использования марковских цепей [5, 6]. Эти направления достаточно успешно были реализованы для оценки производительности, надежности, метрик качества предоставляемых услуг (QoS) элементов ОИ в спе-

циализированных пакетах программного обеспечения SPNP [7] и SHARPE [8]. Однако, несмотря на эти несомненные успехи, отсутствует методология моделирования процессов функционирования ОИ, базирующаяся на единой таксономической основе комплексного решения задачи оценки, анализа и контроля уровня готовности облачных инфраструктур. Решить эту задачу представляется возможным путем метамоделирования, предварительно расширив спектр используемых стохастических методов оценивания.

Целью работы является анализ стохастических методов метамоделирования облачных инфраструктур на основе концептуальных требований обеспечения их готовности с учетом требований производительности, масштабируемости вычислительного ресурса, экономии энергопотребления и эластичности управления компонентами ОИ.

Изложение основного материала 1. Метамодель облачной инфраструктуры

Не привязываясь к конкретной облачной архитектуре, построим таксономию метамоделирования отдельно взятой ОИ, базируясь на положениях, изложенных в [9, 10]. Исходя из указанного, рассмотрим отдельные положения концепции обеспечения готовности ОИ.

Будем полагать, что в состав ОИ входят следующие компоненты: кластер высокодоступных вычислительных средств (физические, виртуальные машины); компьютерные сети для приема, передачи и хранения данных. Безусловное соблюдение требований функциональной готовности, надежности ОИ на пользовательском уровне позволяет повысить гибкость управления компонентными составляющими облака (рис. 1).

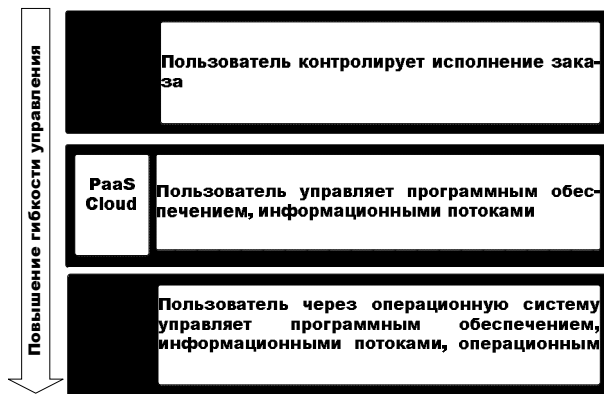


Рис. 1. Схема обеспечения гибкости управления компонентными составляющими ОИ

Качественное предоставление услуг в рамках действующего соглашения (SLA) обеспечивается путем поддержания требуемых значений метрик QoS, включая поддержание требуемых значений показателей надежности, функциональной готовности, доступности и производительности ОИ. Для резервного копирования, восстановления информации; снижения затрат на потребляемую электроэнергию; снижения стоимости охлаждающего оборудования ОИ строится по «пульному» принципу (т.е. разворачиваются подсистемы «горячего», «теплого», «холодного» пулов). Каждый пул содержит физические машины (ФМ), на базе которых разворачиваются виртуальные машины (ВМ). Пульная организация ОИ детально описана в работах [4-6].

С целью выполнения требований SLA на ОИ выполняются мероприятия по мониторингу, диагностике, техническому (профилактическому) обслуживанию и контролю технического состояния инфраструктуры. Кроме того, будем полагать, что требуемый уровень надежности и функциональной готовности ОИ определяется величиной критериально-количественной оценки соответствующих показателей (например, стационарный коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности, коэффициент простоя, средняя наработка между отказами и т.д.), полученных по результатам аналитико-стохастического моделирования.

С учетом изложенных концептуальных положений таксономия метамодели ОИ для анализа ее готовности представлена на рис. 2. Как видим, в наглядном представлении (рис. 2) таксономия принимает форму пирамиды, стороны которой изображены в виде отдельных положений концепции.

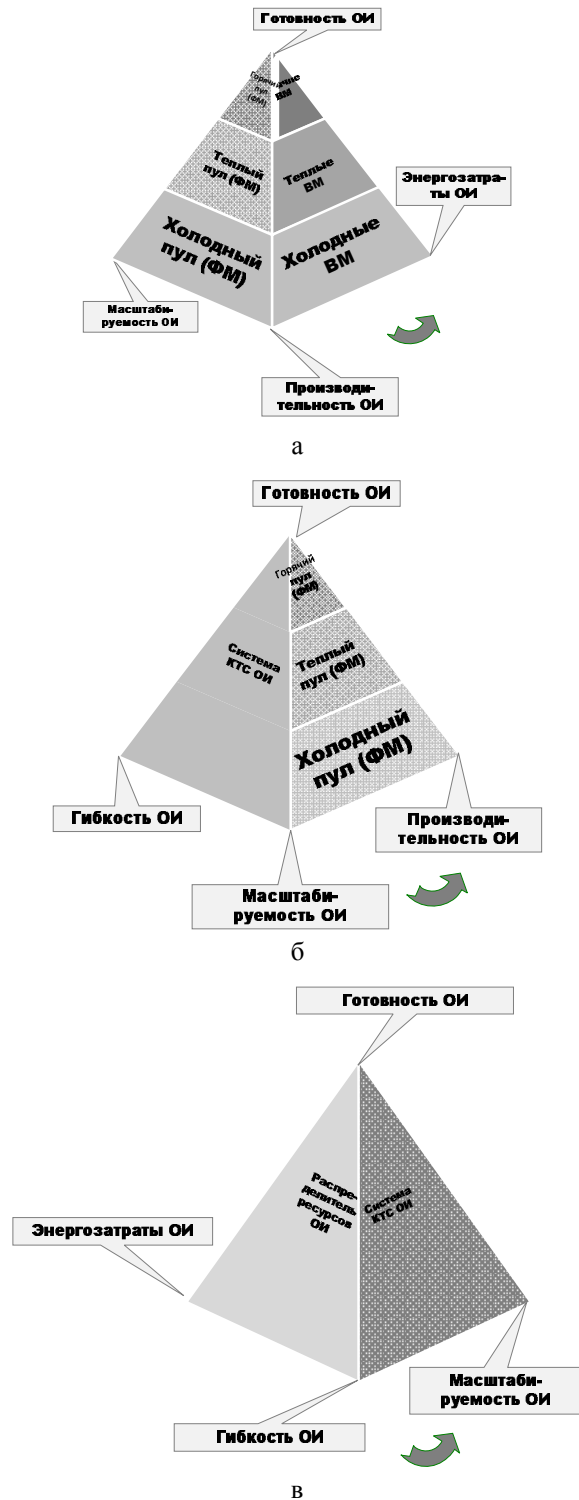


Рис. 2. Таксономия метамодели ОИ для анализа ее готовности: а – 1-я и 2-я стороны; б – 4-я и 1-я стороны; в – 3-я и 4-я стороны

На рис. 2, а первая и вторая стороны пирамиды изображены как пулы ФМ и ВМ. Третья сторона (рис. 2, б) отведена под систему контроля технического состояния (КТС) ОИ, с помощью которой осуществляется мониторинг, диагностика и техническое (профилактическое) обслуживание компонентных составляющих инфраструктуры. Четвертая сторона (рис. 2, в) отвечает за распределение ресурсов ОИ, которое реализуется за счет своевременного подключения (выключения) дополнительных ФМ или ВМ.

2. Анализ стохастических методов

В соответствии с таксономической схемой (рис. 2) метамоделирование готовности облачной инфраструктуры с учетом особенностей ее построения и поведения может быть выполнено с использованием различных стохастических методов. Архитектура методов построения и реализации метамодели изображена на рис. 3.

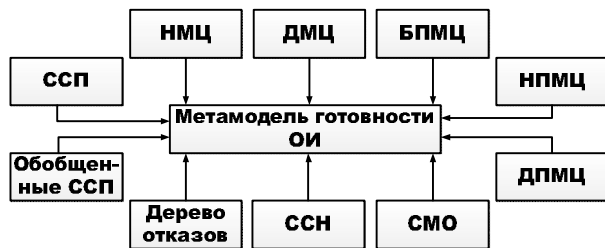


Рис. 3. Архитектура стохастических методов метамоделирования готовности ОИ

Как видно из представленной архитектуры (рис. 3), предметом анализа являются десять групп методов. Каждая из этих групп может быть использована для моделирования определенных свойств ОИ. Обобщенные данные по оценке возможностей использования указанных методов для моделирования ОИ, представлены в табл. 1. В частности, ССП могут быть использованы для моделирования и оценки возможностей обеспечения гибкости управления ОИ. В случае наблюдения марковского альтернирующего процесса отказов-восстановлений для оценки показателей готовности (надежности) ОИ целесообразно использовать обобщенные стохастические сети Петри (ОССП) [4]. Этот же аппарат можно использовать для оценки показателей гибкости управления инфраструктурой. Не менее эффективно можно использовать классические методы построения «дерева отказов» и структурных схем надежности (ССН) [11] для решения задач обеспечения готовности (надежности) облачных инфраструктур.

Таблица 1

Использование стохастических методов для метамоделирования готовности ОИ

№	Метод	Возможность использования для оценки показателей				
		A1	A2	A3	A4	A5
1.	ССП				+	
2.	Обобщенные ССП	+			+	
3.	НМЦ	+	+	+	+	+
4.	ДМЦ	+	+	+	+	+
5.	БПМЦ	+	+	+	+	+
6.	НПМЦ	+	+	+	+	+
7.	ДПМЦ	+	+	+	+	+
8.	СМО	+	+		+	
9.	Дерево отказов	+				

В представленной табл. 1 используются следующие обозначения: A1 – готовность/надежность ОИ; A2 – производительность ОИ; A3 – энергозатраты ОИ; A4 – гибкость ОИ; A5 – масштабируемость ОИ.

Определенной степенью универсальности обладает аппарат оценки QoS-метрик ОИ на основе использования как непрерывных (НМЦ) [12], дискретных (ДМЦ) [13], так и беспроязых марковских цепей (БПМЦ) [11]. В дополнение к НМЦ, ДМЦ и БПМЦ в случаях, когда отсутствует информация о возможных состояниях компонентов облачной инфраструктуры, а известны только их входные и выходные параметры предлагается использовать аппарат скрытых марковских цепей (МЦ) [14]. Как следует из табл. 1 марковские модели позволяют успешно решать весь спектр задач в рамках рассматриваемой таксономии (рис. 2.). Серьезным недостатком МЦ является невозможность их применения в случае нарушения свойства марковости. В этой ситуации предлагается применять аппарат моделирования полумарковских процессов, а именно, полумарковские цепи (ПМЦ).

Как правило, предпосылкой к нарушению свойства марковости является наличие интервалов мониторинга и диагностики ОИ. К тому же, если выполняются различные виды сервисного обслуживания, восстановления работоспособности, КТС компонентов инфраструктуры, то появляются дополнительные интервалы времени, продолжительности которых могут рассматриваться как детерминированные или случайные величины, распределенные по законам, отличающимся от экспоненциального, например, Эрланга 2-го или 3-го порядка, Вейбулла [15]. Если продолжительности указанных интерва-

лов являются детерминированными величинами, то для моделирования предлагается использовать дискретные полумарковские цепи (ДПМЦ); если же продолжительности этих интервалов рассматриваются как случайные величины, то рекомендуется использовать аппарат моделирования непрерывных полумарковских цепей (НПМЦ). Расширить возможности анализа позволяет использование скрытых полумарковских моделей, условия применения которых аналогичны условиям применения скрытых МЦ. Особенностью скрытых ПМЦ является дискретный или стохастический характер изменения продолжительности наблюдаемых интервалов, характеризующих входной информационный поток [16].

Заключение

Предложенная таксономия является фундаментальной основой для моделирования поведения и оценки показателей готовности, надежности облачных инфраструктур.

Выполненный анализ расширяет возможности использования стохастических методов для обеспечения производительности, масштабируемости ресурса, экономии энергопотребления и эластичности управления компонентами облачной инфраструктуры. Рассмотренные методы моделирования целесообразно применять для выбора оптимальных архитектурных решений в соответствии с установленным критерием готовности облачных инфраструктур.

Литература

1. *Cloud Computing Takes Off* [Электронный ресурс] / Morgan Stanley. – Режим доступа: http://www.morganstanley.com/views/perspectives/cloud_computing.pdf. – 20.02.2016.
2. *Cloud Computing with Amazon Web Services* [Электронный ресурс] / Amazon. – Режим доступа: https://aws.amazon.com/what-is-aws/?nc1=h_ls. – 20.02.2016.
3. *Infrastructure security and reliability* [Электронный ресурс] / Rackspace. – Режим доступа: <http://www.rackspace.co.uk/security-reliability>. – 20.02.2016.
4. Ghosh, R. *Stochastic Model Driven Capacity Planning for an Infrastructure-as-a-Service Cloud* [Text] / R. Ghosh, F. Longo, R. Xia, Vijay K. Naik, Kishor S. Trivedi // *IEEE Transactions On Services Computing*. – 2013. – vol. 7, no. 4. – P. 667 – 680.
5. *End-to-End Performability Analysis for Infrastructure-as-a-Service Cloud* [Электронный ресурс] / R. Ghosh, Kishor S. Trivedi, Vijay K. Naik, Dong S. Kim. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/profile/Kishor_Trivedi2/publication/220700061_End-to-End_Performability_Analysis_for_Infrastructure-as-a-Service_Cloud_An_Interactive_Stochastic_Models_Approach/links/54233a4d0cf238c6ea6e3632.pdf. – 21.02.2016.
6. *Availability analysis of cloud computing centers* [Электронный ресурс] / H. Khazaei, J. Mistic, V. B. Mistic, N. Beigi-Mohammadi. – Режим доступа: <http://www.scs.ryerson.ca/~jmistic/papers/gc12hamzeh.pdf>. – 21.02.2016.
7. *SPNP: Stochastic Petri Nets. Version 6* [Text] / C. Hirel, B. Tuffin, K. S. Trivedi, B. Haverkort, H. Bohnenkamp // *In International Conference on Computer Performance Evaluation: Modelling Techniques and Tools (TOOLS 2000), Lecture Notes in Computer Science 1786, Springer Verlag, Schaumburg, IL*. – 2000. – P. 354 – 357.
8. Trivedi, K. S. *SHARPE at the Age of Twenty Two* [Text] / K. S. Trivedi, R. Sahner // *ACM Sigmetrics Performance Evaluation Review*. – 2009. – № 36(4). – P. 52 – 57.
9. France, R. *A Metamodeling Approach to Pattern-Based Model Refactoring* [Электронный ресурс] / R. France, S. Ghosh, E. Song, Dae-Kyoo Kim. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/profile/Robert_France/publication/3248026_A_metamodeling_approach_to_pattern-based_model_refactoring/links/00463526e_d331c549e_000000.pdf. – 21.02.2016.
10. Kim, D. K. *A UML-Based Metamodeling Language to Specify Design Patterns* [Электронный ресурс] / D. K. Kim, R. France, S. Ghosh, E. Song. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/profile/Eunjee_Song/publication/228825600_A_uml-based_metamodeling_language_to_specify_design_patterns/links/02e7e5213791f17c37000000.pdf. – 22.02.2016.
11. Malhotra, M. *Power-hierarchy of dependability model types* [Электронный ресурс] / M. Malhotra, Kishor S. Trivedi. – Режим доступа: <http://rmod.ee.duke.edu/PAPERS/powerhier.pdf>. – 22.02.2016.
12. *A scalable availability model for Infrastructure as-a-Service cloud* [Электронный ресурс] / F. Longo, R. Ghosh, V. Naik, Kishor S. Trivedi. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/profile/Kishor_Trivedi2/publication/220957745_A_scalable_availability_model_for_Infrastructure-as-a-Service_cloud/links/02e7e5209347e27a50000000.pdf. – 24.02.2016.

13. Sharma, V. S. *Quantifying software performance, reliability and security: An architecture-based approach [Text]* / V. S. Sharma, K. S. Trivedi // *Journal of Systems and Software*. – 2007. – Vol. 80 (4), P. 493–509.

14. Qingtao, W. *A Qos-satisfied prediction model for cloud-service composition based on a hidden markov model [Электронный ресурс]* / W. Qingtao, Zhang Mingchuan // *Zheng Ruijuan & Wei Wangyang Mathematical Problems in Engineering*. – Режум доцмына: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/387083>. – 24.02.2016.

15. Bolch, G. *Queueing networks and Markov chains: modeling and performance evaluation with computer science applications [Text]* / G. Bolch, S. Greiner, Hermann de Meer, Kishor S. Trivedi. – John Wiley and Sons Inc., 1998. – 726 p.

16. Yu, S.-Z. *A hidden semi-Markov model with missing data and multiple observation sequences for mobility tracking [Text]* / S.-Z. Yu, H. Kobayashi // *Signal Processing*. – 2003. – vol. 83, no. 2. – P. 235–250.

References

1. Cloud Computing Takes Off. *Morgan Stanley*, Available at: http://www.morganstanley.com/views/perspectives/cloud_computing.pdf (accessed 20.02.2016).

2. Cloud Computing with Amazon Web Services. *Amazon*, Available at: https://aws.amazon.com/what-is-aws/?nc1=h_ls (Accessed 20.02.2016).

3. Infrastructure security and reliability. *Rack-space*, Available at: <http://www.rackspace.co.uk/security-reliability> (accessed 20.02.2016).

4. Ghosh, R. Stochastic Model Driven Capacity Planning for an Infrastructure-as-a-Service Cloud. *IEEE Transactions On Services Computing*, vol. 7, no. 4, 2013, pp. 667 – 680.

5. Ghosh, R., Kishor, S. Trivedi, Vijay, K. Naik, Dong, S. Kim. *End-to-End Performability Analysis for Infrastructure-as-a-Service Cloud*, Available at: https://www.researchgate.net/profile/Kishor_Trivedi2/publication/220700061_End-to-End_Performability_Analysis_for_Infrastructure-as-a-Service_Cloud_An_Interactive_Stochastic_Models_Approach/links/54233a4d0cf238c6ea6e3632.pdf (accessed 21.02.2016).

6. Khazaei, H., Mistic, J., Mistic, V. B., Beigi-Mohammadi, N. *Availability analysis of cloud computing centers*, Available at: <http://www.scs.ryerson.ca/~jmistic/papers/gc12hamzeh.pdf> (accessed 21.02.2016).

7. Hirel, C., Tuffin, B., Kishor, S. Trivedi, Haverkort, B., Bohnenkamp, H. SPNP: Stochastic Petri Nets. Version 6. In *International Conference on Computer Performance Evaluation: Modelling Techniques and Tools (TOOLS 2000)*, Lecture Notes in Computer Science 1786, Springer Verlag, Schaumburg, 2000, pp. 354-357.

8. Trivedi, K. S., Sahner, R. SHARPE at the Age of Twenty Two. *ACM Sigmetrics Performance Evaluation Review*, no. 36(4), 2009, pp. 52-57.

9. R. France, S. Ghosh, E. Song, Dae-Kyoo Kim. *A Metamodeling Approach to Pattern-Based Model Refactoring*. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Robert_France/publication/3248026_A_metamodeling_approach_to_pattern-based_model_refactoring/links/00463526ed331c549e000000.pdf (accessed 21.02.2016).

10. Kim, D. K., France, R., Ghosh, S., Song, E. *A UML-Based Metamodeling Language to Specify Design Patterns*. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Eunjee_Song/publication/228825600_A_uml-based_metamodeling_language_to_specify_design_patterns/links/02e7e5213791f17c37000000.pdf (accessed 22.02.2016).

11. Malhotra, M., Trivedi, Kishor S. *Power-hierarchy of dependability model types*. Available at: <http://rmod.ee.duke.edu/PAPERS/powerhier.pdf> (accessed 24.02.2016).

12. Longo, F., Ghosh, R., Naik, V., Trivedi, Kishor S. *A scalable availability model for Infrastructure as-a-Service cloud*. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Kishor_Trivedi2/publication/220957745_A_scalable_availability_model_for_Infrastructure-as-a-Service_cloud/links/02e7e5209347e27a50000000.pdf (accessed 24.02.2016).

13. Sharma, V. S., Trivedi, Kishor S. Quantifying software performance, reliability and security: An architecture-based approach. *Journal of Systems and Software*, vol. 80 (4), 2007, pp. 493–509.

14. Qingtao, W., Mingchuan, Zhang. A Qos-satisfied prediction model for cloud-service composition based on a hidden markov model. *Zheng Ruijuan & Wei Wangyang Mathematical Problems in Engineering*. Available at: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/387083> (accessed 24.02.2016).

15. Bolch, G., Greiner S., Hermann de Meer, Kishor S. Trivedi. *Queueing networks and Markov chains: modeling and performance evaluation with computer science applications*. 1998, John Wiley and Sons Inc. Publ. p. 726.

16. Yu, S.-Z., Kobayashi, H. A hidden semi-Markov model with missing data and multiple observation sequences for mobility tracking. *Signal Processing*, vol. 83, no. 2, 2003, pp. 235–250.

Поступила в редакцію 28.03.2016, рассмотрена на редколлегии 14.04.2016

АНАЛІЗ СТОХАСТИЧНИХ МЕТОДІВ МЕТАМОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ГОТОВНОСТІ ХМАРНИХ ІНФРАСТРУКТУР

О. В. Іванченко, В. С. Харченко

Виконано аналіз стохастичних методів, які застосовуються для моделювання поведінки та оцінки показників готовності, надійності хмарних інфраструктур (ХІ). У якості фундаментальної основи розглянуто таксономію метамоделювання ХІ, яка базується на концептуальних основах забезпечення продуктивності, масштабованості ресурсу, економії енергоспоживання та еластичності управління компонентами хмарної інфраструктури. Крім широко відомих методів оцінювання з використанням апарату стохастичних мереж Петрі, марківських ланцюгів пропонується акцентувати увагу на можливості застосування методів напівмарківського моделювання, які сприяють підвищенню точності оцінювання метрик якості надаваних послуг (QoS).

Ключові слова: хмарна інфраструктура, стохастичні мережі Петрі, марківські та напівмарківські ланцюги.

ANALYSIS OF STOCHASTIC METHODS FOR METAMODELING AND AVAILABILITY ESTIMATION FOR CLOUD INFRASTRUCTURE

O. V. Ivanchenko, V. S. Kharchenko

Analysis of stochastic methods for modeling of behavior and estimate of availability, reliability cloud infrastructures (CIs) can be performed. Taxonomy of metamodeling cloud infrastructure as framework based on conceptual basis for performance ensuring, scalability of resource, energy savings and management of elasticity of the CIs components are shown in this paper. Besides one of the widely famous estimates methods with use stochastic Petri nets, Markov chains the authors proposed to focus consideration on possibility of using of the Semi-Markov modeling methods, which contribute to improving the accuracy of estimation of QoS metrics.

Key words: cloud infrastructure, stochastic Petri nets, Markov and Semi-Markov chains.

Іванченко Олег Васильевич – канд. техн. наук, доцент, доцент каф. информационных систем и технологий Университета таможенного дела и финансов, Днепропетровск, Украина, e-mail: vmsu12@gmail.com.

Харченко Вячеслав Сергеевич – д-р техн. наук, профессор, зав. каф. компьютерных систем и сетей Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: v_s_kharchenko@ukr.net.

Ivanchenko Oleg Vasilevich – Candidate of Technical Science, Associate Professor of Department of Information Systems and Technologies, University of Customs and Finance, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: vmsu12@gmail.com.

Kharchenko Vyacheslav Sergeevich – Dr. Sc. in Engineering, Prof., Head of Department of Computer Systems and Networks, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: v_s_kharchenko@ukr.net.