

УДК 002.5:004.45

АНАЛИТИКО-СТОХАСТИЧНА МОДЕЛЬ ДОСТУПНОСТІ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ХМАРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

ДОН В. Б. ^{1*}, студент,
ШИБКО О. М. ^{2*}, к.т.н., доцент.

^{1*} Кафедра «Прикладна математика та інформаційні технології». Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 063 71-97-067, email: nikadon95@gmail.com

^{2*} Кафедра «Прикладна математика та інформаційні технології». Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0567) 56-34-10, email: prmat@mail.pgasa.dp.ua ORCID ID: 0000-0001-5894-0642

Анотація. Мета. Проаналізувати стохастичні методи метамодельованих хмарних інфраструктур (ХІ) на основі концептуальних вимог забезпечення їх готовності з урахуванням вимог продуктивності, масштабованості обчислювального ресурсу, економії енергоспоживання і еластичності управління компонентами хмарної інфраструктури. **Методика.** Виконано аналіз стохастичних методів, використовуваних для моделювання поведінки і оцінки показників готовності, надійності хмарних інфраструктур (ХІ). В якості фундаментальної основи розглянуто таксономію метамодельованих ХІ, що базується на концептуальних засадах забезпечення продуктивності, масштабованості ресурсу, економії енергоспоживання і еластичності управління компонентами хмарної інфраструктури. Крім широко відомих методів оцінювання з використанням апарату стохастичних мереж Петрі, марковських ланцюгів пропонується акцентувати увагу на можливості застосування методів напівмарківського моделювання, які сприяють підвищенню точності оцінювання метрик якості послуг, що надаються (QoS). **Результати.** Запропонована таксономія є фундаментальною засадою для моделювання поведінки і оцінки показників готовності, надійності хмарних інфраструктур. **Наукова новизна.** Вирішено проблему відсутності методології моделювання процесів функціонування ХІ, що базується на єдиній таксономічній основі комплексного розв'язання задачі оцінки, аналізу та контролю рівня готовності хмарних інфраструктур. **Практична значимість.** Проведений аналіз відкриває можливості використання стохастичних методів для забезпечення продуктивності, масштабованості ресурсу, економії енергоспоживання і еластичності управління компонентами хмарної інфраструктури. Розглянуті методи моделювання можна застосовувати для вибору оптимальних архітектурних рішень відповідно до встановленого критерія готовності хмарних інфраструктур.

Ключові слова: хмарні обчислення, напівмарківські ланцюги, хмарна інфраструктура, модель, коефіцієнт готовності, доступність

АНАЛИТИКО-СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДОСТУПНОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОБЛАЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

ДОН В. Б. ^{1*}, студент,
ШИБКО О. Н. ^{2*}, к.т.н., доцент.

^{1*} Кафедра «Прикладная математика и информационные технологии». Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского., 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 063 71-97-067, email: nikadon95@gmail.com

^{2*} Кафедра «Прикладная математика и информационные технологии». Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского., 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0567) 56-34-10, email: prmat@mail.pgasa.dp.ua ORCID ID: 0000-0001-5894-0642

Аннотация. Цель. Проанализировать стохастические методы метамоделирования облачных инфраструктур (ОИ) на основе концептуальных требований обеспечения их готовности с учетом требований производительности, масштабируемости вычислительного ресурса, экономии энергопотребления и эластичности управления компонентами ОИ. **Методика.** 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). **Результаты.** Предложенная таксономия является фундаментальной основой для моделирования поведения и

оценки показателей готовности, надежности облачных инфраструктур. **Научная новизна.** Решена проблема отсутствия методологии моделирования процессов функционирования ОИ, базирующаяся на единой таксономической основе комплексного решения задачи оценки, анализа и контроля уровня готовности облачных инфраструктур. **Практическая значимость.** Проведенный анализ открывает возможности использования стохастических методов для обеспечения производительности, масштабируемости ресурса, экономии энергопотребления и эластичности управления компонентами облачной инфраструктуры. Рассмотренные методы моделирования можно применять для выбора оптимальных архитектурных решений в соответствии с установленным критерием готовности облачных инфраструктур.

Ключевые слова: облачные вычисления, полумарковские цепи, облачная инфраструктура, модель, коэффициент готовности, доступность

ANALYTICAL-STOCHASTIC AVAILABILITY MODEL OF MULTI-FUNCTIONAL CLOUD INFRASTRUCTURE

DON V. ^{1*}, student,
SHIBKO O. ^{2*}, P.G., Associate Prof.

^{1*} Department of Applied Mathematics and Information Technologies. Pridniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. 24-a Chernishevskogo st. 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 063 71-97-067, email: nikadon95@gmail.com

^{2*} Department of Applied Mathematics and Information Technologies. Pridniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. 24-a Chernishevskogo st. 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (0567) 56-34-10, email: prmat@mail.pgasa.dp.ua ORCID ID: 0000-0001-5894-0642

Annotation. Purpose. Analyze stochastic methods for metamodeling of cloud infrastructures (CI) based on conceptual requirements for ensuring their readiness taking into account performance requirements, scalability of the computing resource, energy saving and elasticity of control of the components of the CI. **The technique.** The analysis of stochastic methods used to model the behavior and assess readiness indicators, the reliability of cloud infrastructures (CI) is performed. As a fundamental basis, the taxonomy of OO metamodeling is considered, which is based on the conceptual foundations of ensuring productivity, resource scalability, energy saving, and elasticity of management of the components of the cloud infrastructure. In addition to the well-known estimation methods using the apparatus of stochastic Petri nets, Markov chains are proposed to focus on the possibility of using semi-Markov modeling methods that contribute to improving the accuracy of evaluating the metrics of the quality of services provided (QoS). **Results.** The proposed taxonomy is a fundamental basis for modeling behavior and assessing the availability and reliability of cloud infrastructures. **Scientific novelty.** The problem of the lack of methodology for modeling the processes of CI functioning is solved, which is based on a single taxonomic basis of a comprehensive solution to the problem of assessing, analyzing and monitoring the level of readiness of cloud infrastructures. **Practical value.** The analysis opens up the possibility of using stochastic methods to ensure performance, resource scalability, energy saving and elasticity of management of the components of the cloud infrastructure. The considered methods of modeling can be applied to the selection of optimal architectural solutions in accordance with the established criterion of readiness of cloud infrastructures.

Keywords: cloud computing, semi-Markov chains, cloud infrastructure, model, availability, availability

Вступ

На сьогоднішній день одним з перспективних напрямків практичного застосування інформаційних технологій є сфера хмарних обчислень. Хмарні технології та пов'язані з ними обчислення – новітня інформаційна концепція, для якої ще не до кінця сформульовані основні принципи формування та використання. Вимагає подальшого уточнення не лише визначення самої технології, а і сценарії використання хмарних обчислень, проблеми та переваги їх застосування. Про це свідчать середньорічні темпи росту (CAGR) прибутку на ринку хмарних сервісів масштабних ІТ компаній таких як Microsoft, IBM, Rackspace, Amazon [1]. Одночасно зі зростанням економічних показників пред'являються серйозні вимоги до забезпечення високої продуктивності, доступності та гнучкості управління хмарними інфраструктурами (ХІ) [2,3]. Тому на сьогоднішній день стоїть завдання використання відомих і розробки нових методів моделювання

процесів зміни надійності ХІ. Не менш важливим є завдання оцінки рівня готовності ХІ, яке вирішується з використанням результатів моделювання поведінки різних компонентних складових хмарних інфраструктур.

Найбільш поширеними напрямками моделювання ХІ є: 1) моделювання на основі використання стохастичних мереж Петрі (СМП) [4]; 2) моделювання на основі використання марківських ланцюгів [5,6]. Ці напрямки досить успішно були реалізовані для оцінки продуктивності, надійності, метрик якості послуг, що надаються (QoS) елементів ХІ в спеціалізованих пакетах програмного забезпечення SPNP [7] і SHARPE. Однак, незважаючи на ці безсумнівні успіхи, відсутня методологія моделювання процесів функціонування ХІ, що базується на єдиній таксономічній основі комплексного розв'язання задачі оцінки, аналізу та контролю рівня готовності хмарних інфраструктур. Вирішити це завдання можливо шляхом

метамодельовання, попередньо розширивши спектр використовуваних стохастичних методів оцінювання.

Мета

Головна мета - це аналіз стохастичних методів метамодельовання хмарних інфраструктур на основі концептуальних вимог забезпечення їх готовності з урахуванням вимог продуктивності, масштабованості обчислювального ресурсу, економії енергоспоживання і еластичності управління компонентами хмарних інфраструктур.

Методика

Такі всесвітньовідомі компанії як IBM, Google, Microsoft, Rackspace, Salesforce володіють найбільш розгалуженою і потужною на сьогоднішній день мережею хмарної інфраструктури. Надання різними провайдерів зазначених компаній широкого спектру хмарних послуг є результатом спільного функціонування трьох компонентних складових хмарної інфраструктури: інфраструктури як сервісу хмарних обчислень (IaaS Cloud), платформи як сервісу хмарних обчислень (PaaS Cloud), програмного забезпечення як сервісу хмарних обчислень (SaaS Cloud). Користувач, згідно зі схемою функціонального застосування композитних складових може самостійно обрати яку з трьох інфраструктур застосувати для вирішення конкретної задачі. Не прив'язуючись до конкретної хмарної архітектури, побудуємо таксономію метамодельовання окремо взятої ХІ, базуючись на положеннях, викладених в [2]. Виходячи із зазначеного, розглянемо окремі положення концепції забезпечення готовності ХІ.

Будемо вважати, що до складу ХІ входять наступні компоненти: кластер високодоступних обчислювальних засобів; комп'ютерні мережі для прийому, передачі та зберігання даних. Безумовне дотримання вимог функціональної готовності, надійності ХІ дозволяє підвищити гнучкість управління компонентними складовими хмари (рис. 1).

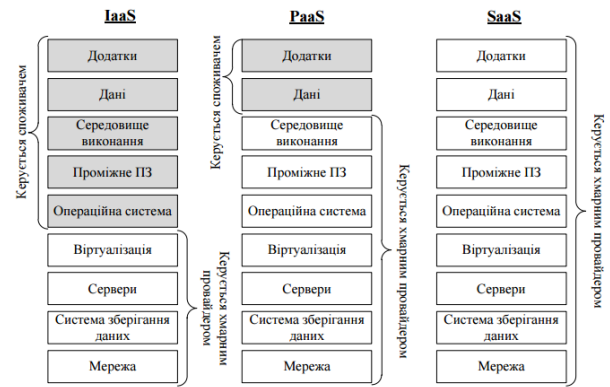
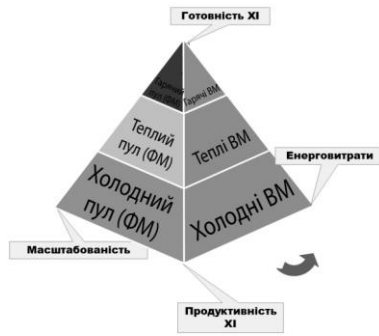


Рис. 1. Розподіл відповідальності в хмарних моделях / Distribution of responsibility in cloud service models

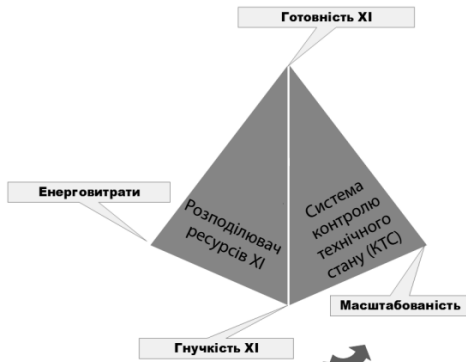
Якісне надання послуг в рамках чинної угоди (SLA) забезпечується шляхом підтримки необхідних значень метрик QoS, включаючи підтримку необхідних значень показників надійності, функціональної готовності, доступності та продуктивності ХІ. Для резервного копіювання, відновлення інформації, зниження витрат на електроенергію, що споживається та зниження вартості охолоджуючого устаткування ХІ будується за «пульним» принципом (тобто розгортаються підсистеми «гарячого», «теплого», «холодного» пулів). Кожен пул містить фізичні машини (ФМ), на базі яких розгортаються віртуальні машини (ВМ). Пульна організація хмарних інфраструктур детально описана в роботах [4,5].

З метою виконання вимог SLA на ХІ виконуються заходи з моніторингу, діагностики, технічного (профілактичного) обслуговування і контролю технічного стану інфраструктури. Крім того, будемо вважати, що необхідний рівень надійності та функціональної готовності хмарних інфраструктур визначається величиною критеріально-кількісної оцінки відповідних показників (наприклад, стаціонарний коефіцієнт готовності, коефіцієнт оперативної готовності, коефіцієнт простою, середнє напрацювання між відмовами і т.д.), отриманих за результатами аналітико-стохастичного моделювання.

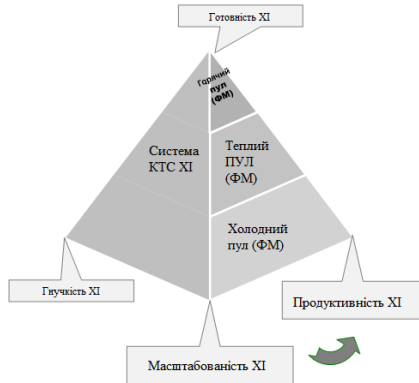
З урахуванням викладених концептуальних положень таксономія метамоделі ХІ для аналізу її готовності представлена на рис. 2. Як бачимо, в наочному поданні (рис. 2) таксономія приймає форму піраміди, сторони якої зображені у вигляді окремих положень концепції.



а)



б)



в)

Рис. 2 Таксономія метамоделі хмарної інфраструктури для аналізу її готовності / Taxonomy of metamodels of cloud infrastructure for analysis of its readiness

На рис. 2, а перша і друга сторони піраміди зображені як пули ФМ і ВМ. Третя сторона (рис. 2, б) відведена під систему контролю технічного стану (КТС) ХІ, за допомогою якої здійснюється моніторинг, діагностика та технічне (профілактичне) обслуговування компонентних складових інфраструктури. Четверта сторона (рис. 2, в) відповідає за розподіл ресурсів ХІ, яке реалізується за рахунок своєчасного підключення (виключення) додаткових ФМ або ВМ.

Аналіз стохастичних методів

Відповідно до таксономічної схеми (рис. 2) метамодельовання готовності хмарної інфраструктури

з урахуванням особливостей її побудови і поведінки може бути виконано з використанням різних стохастичних методів. Архітектура методів побудови і реалізації метамоделі зображена на рис. 3.



Рис. 3. Архітектура стохастичних методів метамодельовання готовності ХІ / Architecture of stochastic metamodeling methods of readiness of CI

Як видно з наведеної архітектури (рис. 3), предметом аналізу є десять груп методів. Кожна з цих груп може бути використана для моделювання певних властивостей ХІ. Узагальнені дані за оцінкою можливостей використання зазначених методів для моделювання ХІ, представлені в табл. 1. Зокрема, ССП можуть бути використані для моделювання та оцінки можливостей забезпечення гнучкості управління ХІ. У разі спостереження марківського процесу відмов-відновлення для оцінки показників готовності (надійності) ХІ доцільно використовувати узагальнені стохастичні мережі Петрі (УСМП) [4]. Цей самий апарат можна використовувати для оцінки показників гнучкості управління інфраструктурою. Не менш ефективно можна використовувати класичні методи побудови «дерева відмов» і структурних схем надійності (ССН) для вирішення завдань забезпечення готовності (надійності) хмарних інфраструктур.

Таблиця 1

Використання стохастичних методів для метамодельовання готовності ХІ / Using stochastic methods for metamodeling the readiness of CI

№	Метод	Можливість використання для оцінки показників				
		A1	A2	A3	A4	A5
1.	ССП				+	
2.	Узагальнені ССП	+			+	
3.	НМЛ	+	+	+	+	+
4.	ДМЛ	+	+	+	+	+
5.	БПМЛ	+	+	+	+	+
6.	НМЛ	+	+	+	+	+
7.	ДНМЛ	+	+	+	+	+
8.	СМО	+	+		+	
9.	Дерево відмов	+				

У представленій табл. 1 використовуються наступні позначення: А1 - готовність / надійність ХІ;

A2 - продуктивність XI; A3 - енерговитрати XI; A4 - гнучкість XI; A4 - масштабованість XI.

Певним ступенем універсальності володіє апарат оцінки QoS-метрик XI на основі використання як безперервних (БМЛ), дискретних (ДМЛ), так і безпрограшних марківських ланцюгів (БПМЛ). На додаток до БМЛ, ДМЛ і БПМЛ у випадках, коли відсутня інформація про можливі стани компонентів хмарної інфраструктури, а відомі тільки їх вхідні і вихідні параметри пропонується використовувати апарат прихованих марківських ланцюгів (МЛ). Як впливає з табл. 1 марківські моделі дозволяють успішно вирішувати весь спектр завдань в рамках даної таксономії (рис. 2.). Серйозним недоліком МЛ є неможливість їх застосування в разі порушення властивості. У цій ситуації пропонується застосовувати апарат моделювання напівмарківських процесів, а саме, напівмарківського ланцюга (НМЛ). Як правило, передумовою до порушення властивості є наявність інтервалів моніторингу та діагностики XI. До того ж, якщо виконуються різні види сервісного обслуговування, відновлення працездатності, КТС компонентів інфраструктури, то з'являються додаткові інтервали часу, тривалості яких можуть розглядатися як детерміновані або випадкові величини, розподілені за законами, що відрізняється від експоненціального, наприклад, Ерланга 2-го або 3-го порядку, Вейбулла. Якщо тривалості зазначених інтервалів є детермінованими величинами, то для моделювання пропонується використовувати дискретні напівмарківські ланцюги (ДНМЛ); якщо ж

тривалості цих інтервалів розглядаються як випадкові величини, то рекомендується використовувати апарат моделювання безперервних напівмарківських ланцюгів (БНМЛ). Розширити можливості аналізу дозволяє використання прихованих напівмарківських моделей, умови застосування яких аналогічні умовам застосування прихованих МЛ. Особливістю прихованих НМЛ є дискретний або стохастичний характер зміни тривалості спостережуваних інтервалів, які характеризують вхідний інформаційний потік.

Наукова новизна и практична значимість

Запропонована таксономія є фундаментальною засадою для моделювання поведінки і оцінки показників готовності, надійності хмарних інфраструктур.

Висновки

Виконаний аналіз розширює можливості використання стохастичних методів для забезпечення продуктивності, масштабованості ресурсу, економії енергоспоживання і еластичності управління компонентами хмарної інфраструктури. Розглянуті методи моделювання доцільно застосовувати для вибору оптимальних архітектурних рішень відповідно до встановленого критерію готовності хмарних інфраструктур.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Иванченко О.В. Обобщенный критерий управления конфигурацией инфраструктуры как сервиса облачных вычислений // Вісник АМСУ. – 2013. – № 1 – С. 2–14.
2. Иванченко О.В. Полумарковская модель надежности инфраструктуры как сервиса облачных вычислений // Вісник АМСУ. – 2014. – № 6. – С. 3-15.
3. Cloud Computing Takes Off [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.morganstanley.com>.
4. Cloud Computing with Amazon Web Services [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://aws.amazon.com>
5. Infrastructure security and reliability [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rackspace.co.uk/security-reliability>.
6. Ghosh R. Stochastic Model Driven Capacity Planning for an Infrastructure-as-a-Service Cloud // IEEE Transactions On Services Computing. – 2013. – № 7 (4). – С. 667–680.
7. Ghosh, R. End-to-End Performability Analysis for Infrastructure-as-a-Service Cloud [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/profile/Kishor_Trivedi2.
8. Khazaei, H. Availability analysis of cloud computing centers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.scs.ryerson.ca/~jmistic/papers/gc12hamzeh.pdf>.

REFERENCES

1. Ivanchenko O.V. *Obobshchennyy kriteriy upravleniya konfiguratsiyey infrastruktury kak servisa oblachnykh vychisleniy* [Generalized Criterion for Configuring Infrastructure as a Cloud Computing Service]. Header of UMSF. – 2013, no. 1, pp. 2-14. (in Russian)
2. Ivanchenko O.V. *Polumarkovskaya model nadezhnosti infrastruktury kak servisa oblachnykh vychisleniy* [The semi-Markov model of reliability of infrastructure as a cloud computing service]. Visnyk AMSU, 2014, no. 6, pp. 3-15. (in Russian)
3. Infrastructure security and reliability. Available at: <http://www.rackspace.co.uk/security-reliability>.
4. Cloud Computing Takes Off. Available at: http://www.morganstanley.com/views/perspectives/cloud_computing.pdf.
5. Cloud Computing with Amazon Web Services. Available at: <https://aws.amazon.com>.
6. 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.
7. Ghosh R. *End-to-End Performability Analysis for Infrastructure-as-a-Service Cloud*, Available at: https://www.researchgate.net/profile/Kishor_Trivedi2.
8. Khazaei H. *Availability analysis of cloud computing centers*. Available at: <http://www.scs.ryerson.ca/~jmistic/papers/gc12hamzeh.pdf> (in English).