

О. В. Иванченко, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий Университета таможенного дела и финансов

А. П. Буланый, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий Университета таможенного дела и финансов

Р. А. Прокопенко, студент Университета таможенного дела и финансов

ОБОБЩЕННЫЙ КРИТЕРИЙ УПРАВЛЕНИЯ КОНФИГУРАЦИЕЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ КАК СЕРВИСА ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

На сегодняшний день крупные провайдерские компании, которые предоставляют облачные сервисы, стараются заключать договоры на оказание соответствующих услуг в терминах собственно готовности облачных сервисов. Поэтому определение оптимальной конфигурации различных облачных инфраструктур является актуальной и важной задачей. Исходя из этого, были построены усовершенствованные стохастические модели надежности и производительности облачных инфраструктур с целью обеспечения их нормального функционирования в течение рассматриваемого интервала времени. На основе использования предложенного модельного ряда выполнено обоснование оптимизационного критерия построения инфраструктуры как сервиса облачных вычислений.

Ключевые слова: *инфраструктура как сервис облачных вычислений; стохастические модели надежности и производительности; оптимизационный критерий.*

Nowadays large infrastructure as a service cloud providers try to offer service level agreements in terms Cloud service availability. The refore determining optimal configuration capacity of different cloud infrastructures is very interesting and important task. Our researches are devoted to develop stochastic reliability and performance models in order to ensure normal operation of Cloud infrastructures on quit a long period of the time. On base using of our stochastic models we formulated optimization criteria for building of infrastructure as a service cloud.

Key words: *infrastructure as a service cloud; stochastic reliability and performance models; optimization criteria.*

Постановка проблемы. Одной из реалий сегодняшнего дня является широкое применение облачных инфраструктур (ОИ) в корпоративной среде, что привело к существенным изменениям парадигмы сервис-ориентированных информационных технологий. Одним из факторов, способствующих таким кардинальным изменениям, является высокий уровень масштабируемости и виртуализации архитектуры облаков, что позволило максимально автоматизировать процесс предоставления услуг. На сегодняшний день

© О. В. Иванченко, А. П. Буланый, Р. А. Прокопенко, 2015

наиболее разветвленной и мощной сетью ОИ обладают всемирно известные компании IBM [1], Google [2], Microsoft [3], Rackspace [4], Salesforce [5] и т. д. Предоставление различными провайдерами указанных компаний широкого спектра облачных услуг (сервисов) является результатом совместного функционирования трех компонентных составляющих (или слоев) ОИ:

- 1) инфраструктуры как сервиса облачных вычислений (IaaS Cloud);
- 2) платформы как сервиса облачных вычислений (PaaS Cloud);
- 3) программного обеспечения как сервиса облачных вычислений (SaaS Cloud).

Какую из трех инфраструктур использовать для решения конкретной задачи выбирает пользователь в соответствии со схемой функционального применения компонентных составляющих ОИ, представленной на рис. 1. Выбирая между IaaS Cloud, PaaS Cloud, SaaS Cloud, пользователь должен учитывать особенности каждого инфраструктурного слоя. В предлагаемой статье основное внимание уделяется первому слою, т. е. инфраструктуре как сервису облачных вычислений.



Рис. 1. Схема функционального применения компонентных составляющих облачной инфраструктуры

Известно, что в IaaS Cloud (например, Amazon EC2 [6], IBM SmartCloud Enterprise [7], IBM Smart Business Desktop Cloud [8]) соответствующий вычислительный ресурс предоставляется по требованию, реализуемому через операционную систему, в виде определенного количества виртуальных машин (VM), которые разворачиваются на базе облачных провайдерских информационных центров (ОПИЦ). Для гарантированного предоставления облачного сервиса некоторые ОПИЦ (например, IBM, Amazon) заключают с пользователями (фирмами, компаниями, корпорациями) согла-

шения об уровне обслуживания (SLAs) в терминах производительности IaaS Cloud. Нарушения таких SLAs приводят к потере доходов и деловой репутации. При заключении SLAs необходимо учитывать ряд факторов, влияющих на производительность IaaS Cloud, к основным из которых следует отнести [9]:

а) тип физической инфраструктуры (например, тип центральных процессоров (CPU), тип оперативной памяти (RAM), тип дисковых накопителей);

б) тип виртуальной инфраструктуры (например, тип монитора характеристик виртуальных машин);

в) тип средств управления и автоматизации распределения вычислительных ресурсов;

г) интенсивность и скорость входных потоков информации;

д) вычислительную мощность, определяемую количеством физических машин (ФМ);

е) поддержание требуемого уровня надежности ФМ;

ж) стоимость потребляемой электроэнергии;

з) стоимость оборудования для охлаждения. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что оценку эффективности IaaS Cloud следует рассматривать как комплексную характеристику, а саму процедуру оценивания – как сложную, не тривиальную операцию, которая может быть реализована в соответствии с установленным критерием управления производительностью инфраструктуры.

Анализ последних исследований и публикаций. Большое количество физических (виртуальных) машин с постоянно меняющейся системной конфигурацией и вычислительной нагрузкой исключают возможность проведения дорогостоящих натуральных экспериментов для измерения традиционных показателей эффективности ОИ вследствие их высокой стоимости. Поэтому для получения статистически значимых результатов при использовании аппарата моделирования дискретных событий, влияющих на производительность облачных инфраструктур, может понадобиться неоправданно много времени [10]. Естественно, в условиях, когда надо учесть большое количество параметров, стохастические модели являются более привлекательной альтернативой. Однако в тоже время применение аппарата стохастического моделирования не позволяет масштабировать рост сложности архитектуры ОИ, что существенно ограничивает его применение. Формализация модели с целью ее упрощения может привести к снижению точности оцениваемых показателей производительности ОИ [11].

Для устранения проблемы масштабируемости в [12] был применен комплексный подход, основанный на декомпозиции единой стохастической модели IaaS Cloud и представлении ее в виде трех подмоделей. Общий результат моделирования был получен в виде итерационных вкладов каждой подмодели. Предложенный подход в аналитическом виде отображает размеры (масштаб) облачной инфраструктуры, особенности реконфигурации компонентных составляющих IaaS Cloud. Кроме того, выполнена количественная оценка последствий изменения входной рабочей нагрузки (например, интенсивности входного информационного потока, интенсивности его обслуживания); емкости инфраструктуры (например, количество ФМ, количество виртуальных машин, разворачиваемых на базовых физических машинах) с учетом качества предоставляемого сервиса; времени задержки вследствие простоя; вероятности отказа в обслуживании входного потока заявок. Опорная модель, отображающая процесс функционирования IaaS Cloud, была построена в виде стохастической сети Петри (ССП) и реализована с использованием пакета моделирования ССП [13]. Авторы выполнили сравнительный

анализ возможностей использования декомпозиционного и целостного подходов. Результаты анализа свидетельствуют, что целостный подход является достаточно сложным для моделирования масштабируемых (большой размерности) IaaS Cloud и обладает низкой точностью, в то время как декомпозиционный подход позволяет получить результаты моделирования приемлемой точности. Авторы утверждают, что подобным образом они обеспечили “аналитическую верификацию и валидацию” рассмотренных подходов. Это утверждение, на наш взгляд, по меньшей мере, является неточным, поскольку в большей степени касается программного обеспечения другого инфраструктурного слоя, т. е. SaaS Cloud, и в меньшей степени – IaaS Cloud.

Явным преимуществом в вычислении IaaS Cloud с большим количеством ФМ (или IaaS Cloud большой размерности) обладает подход, основанный на использовании стохастических зависимостей. Этот подход реализован в пакетах программного обеспечения SHARPE [14] и SPNP [15], которые применяются для построения моделей облачных инфраструктур с большим числом состояний.

В [16] представлена формализованная модель, которая учитывает возможности ОПИЦ по обеспечению информацией; по управлению техническим состоянием, нагрузочным балансом и техническим обслуживанием; по выполнению комплекса мер информационной безопасности облачной инфраструктуры. Указанная модель разрабатывалась с учетом важнейших требований международных стандартов по оперативному предоставлению вычислительных ресурсов в однородном облаке. Для ее реализации использовался инструмент Matlab [17]. В качестве примера в [18] рассмотрена объединенная IaaS Cloud, где каждый облачный провайдер использует однородные облачные сервисы, предоставляемые другими провайдерами. Другие примеры облаков с однородными часто повторяющимися запросами на использование идентичных наборов данных и управляемой картой нагрузки представлены в [19]. Более сложный анализ для разнородных ФМ, учитывающий интенсивность их запросов и распределение вычислительного ресурса, рассмотрен в [20].

Не менее важной проблемой для IaaS Cloud является доступность облачных сервисов. Количественной мерой оценки этого свойства является продолжительность времени простоя. Известно, что даже незначительное время простоя ФМ облачной инфраструктуры может привести к серьезным финансовым убыткам. Поэтому некоторые ОПИЦ, пытаясь улучшить доступность своих сервисов, стараются рационально распределять вычислительный ресурс; дополнительно резервируют физические машины; внедряют новые стратегии ремонта и т. д. Тем не менее внедрение этих мер не приводит к снижению расходов, а увеличение числа ФМ не способствует повышению надежности IaaS Cloud. Следовательно, достижение компромисса между стоимостью и доступностью сервисов ОПИЦ является важным аспектом проводимых исследований.

Выполненный анализ свидетельствует о большом количестве разнородных подходов к моделированию IaaS Cloud и необходимости использования единого критерия построения оценочных моделей облачных инфраструктур.

Цель статьи. Необходимо выполнить обоснование критерия оптимизации управления конфигурацией IaaS Cloud на основе комплексного использования усовершенствованных моделей надежности и доступности облачных сервисов. В качестве опорной используется аналитико-стохастическая модель надежности IaaS Cloud. Инфраструктурные затраты на потребляемую энергию и охлаждающее оборудование учитываются при построении стоимостной модели доступности облачных сервисов.

Изложение основного материала. Не привязываясь к конкретной облачной реализации, предположим, что IaaS Cloud включает в свой состав совокупность ФМ, средств контроля и управления, различного сетевое оборудование. На базе ФМ, входящих в состав облачного провайдерского информационного центра, разворачиваются средства виртуализации (или VM) (рис. 2), состоящие из определенного числа центральных процессоров, оперативных запоминающих устройств и дисковых устройств для хранения информации.



Рис. 2. Средства виртуализации ОПИЦ

Известно [9; 12], что с целью гарантированного хранения информации, снижения расходов на электроэнергию, охлаждающее оборудование физические машины в ОПИЦ группируются в три пула, а именно: горячий, теплый и холодный. В состав горячего пула входят включенные и полностью готовые к работе ФМ. Теплый пул содержит ФМ, находящиеся в состоянии промежуточного использования (например, режим “сна”, “stand by” и т. д.), т. е. включенные, но не подготовленные к приему и обмену информацией физические машины. В состав холодного пула входят полностью выключенные ФМ.

Поддержание ФМ облачной инфраструктуры в готовности к функциональному применению обеспечивается путем контроля информационно-технического состояния, резервирования ресурса за счет миграции физических машин из одного пула в другой, выполнения мероприятий текущего и среднего ремонтов. Выполнение указанных функций в полном объеме возлагается на систему контроля информационно-технического состояния и распределения ресурсов (СКИТ-РС). Фактически с помощью СКИТ-РС обеспечивается управление конфигурацией и производительностью инфраструктуры как сервиса облачных вычислений. Учитывая эти особенности, была построена соответствующая таксономическая схема (ТКС) (рис. 3).

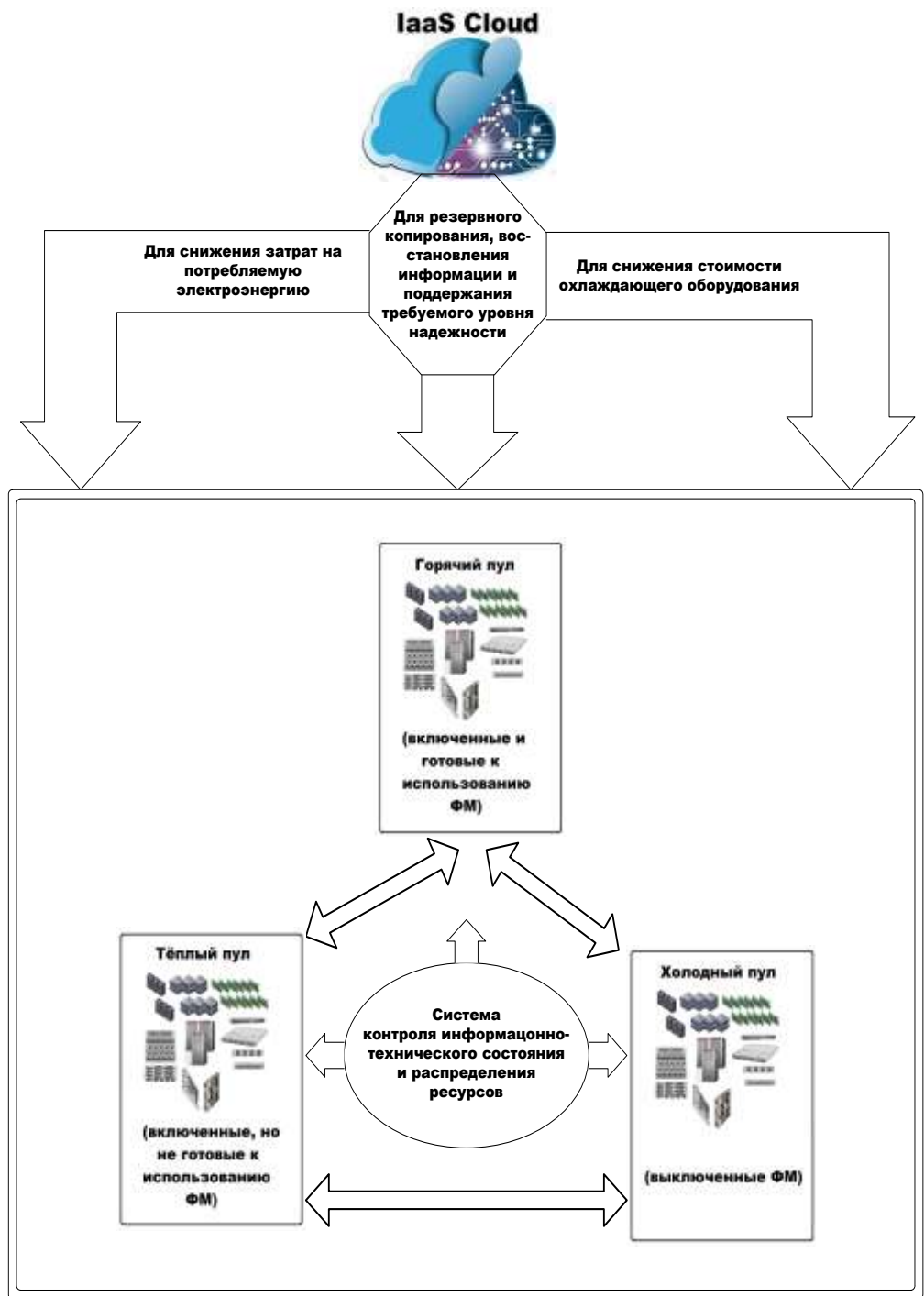


Рис. 3. Таксономическая схема управления конфигурацией IaaS Cloud

Выполним обоснование обобщенного критерия управления конфигурацией облачной инфраструктуры путем поэтапного аналитико-стохастического моделирования процессов, представленных на ТКС (рис. 3).

В рамках единого методологического подхода возникает необходимость построения усовершенствованной полумарковской модели (ПММ) надежности IaaS Cloud. В качестве исследуемой IaaS Cloud рассмотрим инфраструктуру с многофункциональными пулами (горячим, теплым, холодным), каждый из которых содержит десять ФМ, т. е. $n_h = n_w = n_c = 10$. Будем полагать, что продолжительности интервалов наработок на отказ, время миграции ФМ распределены по экспоненциальному закону, а продолжительности интервалов восстановления распределены по закону Эрланга [21; 22].

Особенности применения по назначению ФМ горячего, теплого и холодного пулов инфраструктуры позволяют выделить семь информационно-технических состояний (состояния E_0, \dots, E_6), которые образуют ядро (основу) ПММ инфраструктуры: E_0 – работоспособное состояние (РС) IaaS Cloud; E_1 – IaaS Cloud в состоянии КИТС ($n_h = 10$), в ходе которого возникают внезапные отказы; E_2 – состояние отказа десятой ФМ горячего пула (остальные ФМ горячего пула РС); E_3 – состояние поиска готовой к использованию по назначению ФМ теплого пула в случае отказа десятой физической машины горячего пула; E_4 – состояние поиска готовой к использованию по назначению ФМ холодного пула в случае отказа десятой физической машины горячего пула и отсутствия свободных физических машин теплого пула; E_5 – состояние отказа десятой ФМ теплого пула; E_6 – частичная РС IaaS Cloud соответствует состоянию, когда отказала десятая ФМ, а $n_h = 9$ горячих ФМ РС и т. д. Состояние E_{60} – состояние полного отказа (неработоспособности) IaaS Cloud, когда отказывают все ФМ в каждом пуле, или все физические машины горячего пула находятся в ремонте, а теплый и холодный пулы заняты обслуживанием поступивших заявок.

Граф состояний ПММ изображен на рис. 4.

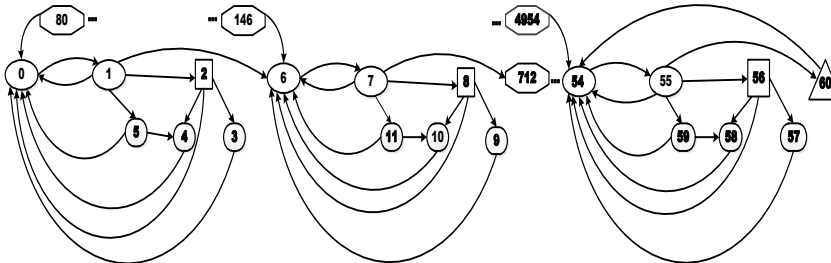


Рис. 4. Граф состояний ПММ надежности IaaS Cloud с многофункциональными пулами ($n_h = n_w = n_c = 10$)

Согласно [21; 22] по результатам реализации первого этапа аналитико-стохастического моделирования выполняется оценка уровня надежности IaaS Cloud, соответствующая определенному значению стационарного коэффициента готовности $K_{ГIaaS}$.

На рис. 5 представлена иерархическая модель формирования расходов на содержание IaaS Cloud.

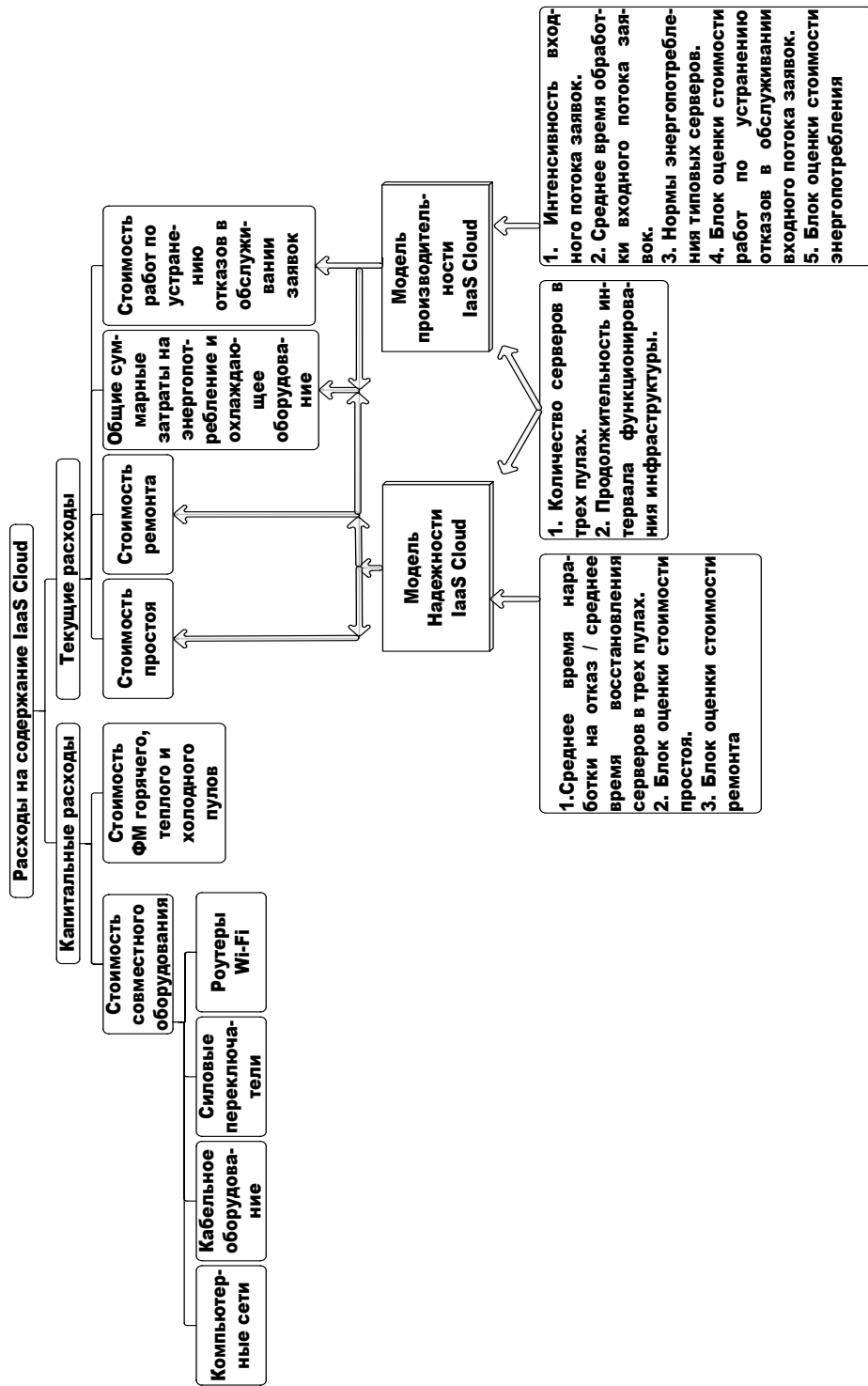


Рис. 5. Иерархическая модель формирования расходов на содержание IaaS Cloud

Компонентные составляющие иерархической модели, представленной на рис. 5, формируются и подлежат оцениванию как компоненты стоимостной модели доступности облачных сервисов [12]. Проанализируем составляющие рассматриваемой иерархии.

Первой компонентой является стоимость оборудования инфраструктуры $C_{OB_{IaaS}}$ (в ден. ед.), которая определяется с использованием соотношения

$$C_{OB_{IaaS}} = n_h + n_w + n_c \cdot C_{KP} + \left(\left[\frac{n_h}{n_s} \right] + \left[\frac{n_w}{n_s} \right] + \left[\frac{n_c}{n_s} \right] \right) \cdot C_{PCO}, \quad (1)$$

где n_s – общее количество совместного оборудования инфраструктуры (компьютерные сети, силовые переключатели, кабель типа “витой пары”, оптоволоконный кабель, роутеры для подключения Wi-Fi и т. д.);

C_{KP} – капитальные расходы (в ден. ед.) на содержание ФМ горячего, теплого и холодного пулов;

C_{PCO} – расходы (в ден. ед.) на инфраструктурное оборудование, размещенное на стеллажах, в специальных стойках и т. д.

Следует отметить, что $C_{OB_{IaaS}}$ представляет собой стоимостный показатель, который не зависит от времени использования инфраструктуры по назначению, т. е. не зависит от общей продолжительности эксплуатации (T_{IaaS}) всего оборудования IaaS Cloud. Фактически инфраструктурные затраты определяют капитальные расходы на содержание инфраструктуры.

Вторая оценочная компонента $C_{ЭП_{IaaS}}$ (в ден. ед.) представляет собой общие суммарные затраты на энергопотребление, охлаждающее оборудование инфраструктуры за период времени T_{IaaS} и определяется с помощью следующего соотношения:

$$C_{ЭП_{IaaS}} = K_{\Gamma_{IaaS}} \cdot C_{УЭП} \cdot T_{IaaS} \cdot \sum_{x=0}^{n_h} \sum_{y=0}^{n_w} \sum_{z=0}^{n_c} W(x, y, z). \quad (2)$$

где $K_{\Gamma_{IaaS}}$ – стационарный коэффициент готовности IaaS Cloud; $W(x, y, z)$ – энергопотребление (в Ваттах) ФМ горячего, теплого и холодного пулов соответственно; $C_{УЭП}$ – удельные затраты на энергопотребление и охлаждающее оборудование (ден. ед./Ватт-час).

На рис. 6 представлена схема реализации процедуры оценивания общих суммарных затрат на энергопотребление и охлаждающее оборудование инфраструктуры с учетом факторов надежности и производительности IaaS Cloud.

Согласно представленной на рис. 6 схеме, затраты на энергопотребление $W(x, y, z)$ каждой ФМ горячего, теплого и холодного пулов определяются с помощью модели производительности IaaS Cloud, достаточно подробно описанной в [23]. Исходные данные для этой модели представлены в табл. 1 [24].

**Общие суммарные затраты
на энергопотребление и охлаждающее оборудование**

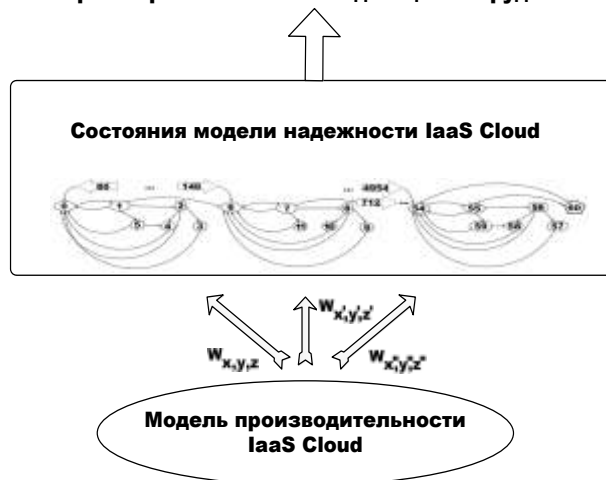


Рис. 6. Схема реализации процедуры оценивания общих суммарных затрат на энергопотребление и охлаждающее оборудование IaaS Cloud

Таблица 1

Энергопотребление компонентов IaaS Cloud

Название компонента	Режимы энергопотребления (Ватты)			Продолжительность переходных процессов (мкс)
	Активный	Простой	Сон	
Центральный процессор (CPU chip)	80–150	12–20	3,4	30
Оперативное запоминающее устройство (DRAM/DIMM)	3,5–5	1,8–2,5	0,2	<1
Типовой дисковый сервер	450	270	10,4	300

Третьей оценочной компонентой является общая стоимость ремонта IaaS Cloud, которая рассчитывается по формуле

$$C_{P_{IaaS}} = r_h + r_w + r_c \cdot C_P \cdot T_{IaaS}, \quad (3)$$

где C_P – стоимость ремонта (в ден. ед.) каждой ФМ; r_h – среднее количество ремонтов в единицу времени в горячем пуле; r_w – среднее количество ремонтов в единицу времени в теплом пуле; r_c – среднее количество ремонтов в единицу времени в холодном пуле.

В качестве четвертой оценочной компоненты фигурирует стоимость простоя IaaS Cloud, значение которой определяется с использованием следующего соотношения:

$$C_{IP\ IaaS} = C_{yII} \cdot \max(0, DT - T_{\min}), \quad (4)$$

Где C_{yII} – удельные потери (ден. ед./мин) вследствие простоев IaaS Cloud;

DT – суммарное время простоев (в минутах) инфраструктуры за период времени T_{IaaS} ;

T_{\min} – минимально допустимое время простоев IaaS Cloud (в минутах), значение которого указано в SLA.

Пятая компонентная составляющая $C_{O3\ IaaS}$ учитывает стоимость простоев IaaS Cloud из-за отказов в обслуживании заявок вследствие переполнения накопителя очереди, низкой пропускной способности и вычислительной мощности физических машин инфраструктуры [25]. Численная оценка указанного показателя определяется как

$$C_{O3\ IaaS} = \rho_{O3} \cdot C_{VO3} \cdot T_{IaaS}, \quad (5)$$

где ρ_{O3} – интенсивность отказа инфраструктуры в обслуживании входного потока заявок (1/час);

C_{VO3} – стоимость отказа инфраструктуры в обслуживании единичной заявки (ден. ед.).

К сожалению, многие ПОИЦ гарантированно не могут обеспечить поддержание установленного значения T_{\min} . Например, для Amazon EC2 численное значение стационарного коэффициента готовности составляет $K_{\Gamma\ IaaS} = 0,9995$ вместо установленного в SLA требуемого значения $K_{\Gamma\ IaaS}^* \geq 0,9999$. Такое численное несоответствие значений показателей готовности приводит к тому, что в течение года облачная инфраструктура Amazon EC2 простаивает 4 ч. 38 мин. [12]. Этот факт свидетельствует о чрезвычайной важности проблемы производительности IaaS Cloud, которая в значительной степени зависит от возможностей по управлению конфигурацией инфраструктуры в соответствии с выбранным критерием оценивания.

Используя приведенные рассуждения и полученные математические соотношения, на вербальном уровне эта проблема может быть сформулирована как определение оптимального количества физических машин в каждом пуле с уровнем надежности не ниже предельно допустимого, что позволяет обеспечить производительную работу IaaS Cloud в соответствии с критерием минимальной общей стоимости облачной инфраструктуры. Математическая постановка задачи может быть сформулирована следующим образом: необходимо определить такие значения n_h, n_w, n_c , которые бы удовлетворяли оптимизационный критерий

$$\xi_{opt} = \begin{cases} K_{\Gamma\ IaaS} \cdot \mathbf{1}_{IaaS} \geq K_{\Gamma\ IaaS}^*; \\ C_{IaaS} = C_{OB\ IaaS} + C_{OB\ IaaS} + C_{OB\ IaaS} + C_{OB\ IaaS} + C_{OB\ IaaS} \rightarrow C_{IaaS\ min}; K_{\Gamma\ IaaS} \cdot \mathbf{1}_{IaaS} \geq K_{\Gamma\ IaaS}^*; \\ n_h \geq 0, n_w \geq 0, n_c \geq 0; \end{cases} \quad (6)$$

где $n_h \in 0,1,\dots, m$, $n_w \in 0,1,\dots, \ell$, $n_c \in 0,1,\dots, s$.

Помимо управления конфигурацией, разработанный критерий может быть использован для выбора приемлемых архитектурных решений IaaS Cloud.

Выводы из данного исследования и перспективы дальнейших разведок в данном направлении. Предлагаемый модельный ряд может быть использован для управления конфигурацией IaaS Cloud, оценки ее производительности и определения рациональной продолжительности использования облачной инфраструктуры по назначению.

Дальнейшие перспективы использования усовершенствованных стохастических моделей связаны с оптимизацией расхода инфраструктурного ресурса, обоснования предельных величин показателей функциональной готовности IaaS Cloud и построения высокопроизводительных облачных инфраструктур с управляемой конфигурацией IT-компонентных составляющих, например, мобильной облачной инфраструктуры.

Список использованных источников:

1. IBM Smart Cloud Enterprise, August 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www-935.ibm.com/services/us/en/it-services/gts-it-service-home-page-1.html>
2. Google Apps for Business, August 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.google.com/enterprise/apps/business/index.html>
3. Microsoft Cloud, August 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.microsoft.com/cloud>
4. Rackspace Cloud, August 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.rackspace.com/cloud>
5. Salesforce Service Cloud, August 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.salesforce.com/servicecloud/overview>
6. Amazon EC2, August 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.amazon.com/ec2>
7. IBM Smart Cloud Enterprise, August 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.ibm.com/developerworks/community/blogs/49773f8f-a20d-4816-86f2-44a2d862dbc1/entry/ibm_smartcloud_enterprise_now_includes_rational_developer_for_i_9_0_and_rational_developer_for_aix_and_linux_9_0_images?lang=en
8. IBM Smart Business Desktop Cloud, August 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www-07.ibm.com/businesscenter/au/services/cloud_computing/smart_business_desktop_cloud.html
9. Ghosh R. Modeling and Performance Analysis of Large Scale IaaS Clouds [Электронный ресурс] / R. Ghosh, F. Longo, V. K. Naik, K. S. Trivedi // Future Generation Computer Systems. – 2013. – Vol. 29. – P. 1216–1234. – Режим доступа : <http://www.barbie.uta.edu/~jli/Resources/MapReduce&Hadoop/Modeling%20and%20performance%20analysis%20of%20large%20scale%20IaaS%20Clouds.pdf>
10. Buyya R. Modeling and Simulation of Scalable Cloud Computing Environments and the Clouds Toolkit: Challenges and Opportunities / R. Buyya, R. Ranjan, R. N. Calheiros // In IEEE International Conference on High Performance Computing and Simulation (HPCS). – Leipzig, 2009. – P. 1–11.
11. Sato N. Stochastic Modeling of Composite Web Services for Closed-form Analysis of their Performance and Reliability Bottlenecks / N. Sato, K. S. Trivedi // In International conference on Service-Oriented Computing (ICSOC). – Vienna, 2007. – P. 107–118.

-
12. Ghosh R. Scalable Stochastic Models for Cloud Services [Электронный ресурс] / R. Ghosh // Department of Electrical and Computer Engineering Duke University. – 2012. – 494 p. – Режим доступа : http://www.dukespace.lib.duke.edu/dspace/bitstream/handle/10161/6110/Ghosh_duke_0066D_11619.pdf?sequence=1
 13. Ciardo G. SPNP: Stochastic Petri Net Package / G. Ciardo, J. Muppala, K. S. Trivedi // In IEEE Third Int. Workshop on Petri Nets and Performance Models (PNPM89). Kyoto, 1989. – P. 142–151.
 14. Trivedi K. S. SHARPE at the Age of Twenty Two / K. S. Trivedi, R. Sahner // ACM Sigmetrics Performance Evaluation Review. – 2009. – № 36 (4). – P. 52–57.
 15. SPNP: Stochastic Petri Nets. Version 6 / C. Hirel, B. Tuffin, K. S. Trivedi and oth. // 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. 35–357.
 16. Jansen W. Guidelines on Security and Privacy in Public Cloud Computing / W. Jansen, T. Grance // Technical Report NIST Special Publication 800–144. – December. – 2011.
 17. Matlab, August 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.mathworks.com/products/matlab>
 18. Celesti A. How to Enhance Cloud Architectures to Enable Cross-federation / A. Celesti, F. Tusa, M. Villari, A. Puliafito // In IEEE International Conference on Cloud Computing (CLOUD). – Miami. – 2010. – P. 337–345.
 19. Statistics-driven Workload Modeling for the Cloud / A. Ganapathi, Y. Chen, A. Fox and oth. // In IEEE International Workshop on Self Managing Database Systems (SMDB). – Long Beach, 2010. – P. 87–92.
 20. Garbacki P. Efficient Resource Virtualization and Sharing Strategies for Heterogeneous Grid Environments / P. Garbacki, V. K. Naik // In IEEE International Symposium on Integrated Network Management. – Munich, 2007. – P. 40–49.
 21. Безопасность критических инфраструктур: математические и инженерные методы анализа и обеспечения / под ред. Харченко В. С. // Министерство образования и науки Украины, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”, 2011. – 641 с.
 22. Информационные технологии для критических инфраструктур / под ред. Скаткова А. В. – Севастополь, 2012. – 306 с.
 23. Ghosh R. Power-performance trade-offs in iaas cloud: A scalable analytic approach / R. Ghosh, V. K. Naik, K. S. Trivedi // In IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN), Workshop on Dependability of Clouds, Data Centers and Virtual Computing Environments (DCDV). – Hong Kong, 2011. – P. 152–157.
 24. Meisner D. Power Nap: Eliminating Server Idle Power / D. Meisner, B. T. Gold, T. F. Wenisch // In ASPLOS 2009: Proceeding of the 14th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems, ACM. – 2009. – P. 205–216.
 25. Trivedi K. Optimization of IaaS Cloud including Performance, Availability, Power Analysis [Электронный ресурс] / K. Trivedi // In IFIP Networking 2014 Conference. – June 2–4. – 2014. – 76 p. – Режим доступа : <http://www.networking2014.item.ntnu.no/pdfs/K2-KishorTrivedi-IFIP-Networking-2014.pdf>