

*Имангалиева Г.Г.,*

*магистрант*

*2 курс, факультет «Информационных Технологий»*

*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева*

*Астана, Казахстан.*

*Сексенбаева А.К.,*

*доцент,*

*доцент кафедры «Информатика и информационная безопасность»*

*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,*

*Астана, Казахстан*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО МАСШТАБИРОВАНИЯ БАЗ ДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

***Аннотация:** В статье рассматривается горизонтальное масштабирование баз данных NoSQL, которые демонстрируют очень изменчивое, непредсказуемое и трудное для моделирования поведение в сочетании с временными явлениями при удалении и / или добавлении VM. Мы предлагаем решение, которое является экономичным, систематическим, зависимым, в то же время учитывает непредсказуемость и изменчивость производительности. С этой целью мы моделируем эластичность как динамически создаваемый марковский процесс принятия решений, который может быть решен и проверен с помощью проверки вероятностной модели. Кроме того, мы предлагаем ряд дополнительных политик принятия решений, которые тщательно оцениваются в рабочих нагрузках от реальных следов. Оценка дает четкое представление о компромиссе между производительностью и стоимостью, которого может достичь наша политика, и доказывает, что мы можем избежать как чрезмерного, так и недостаточного обеспечения.*

**Ключевые слова:** Эластичность облака, проверка вероятностной модели, количественная проверка, автономные вычисления, ПРИЗМА, базы данных NoSQL.

**Annotation:** *This article discusses the horizontal scaling of NoSQL databases, which exhibit very variable, unpredictable and difficult to model behavior in combination with temporary phenomena when removing and / or adding VMs. We offer a solution that is economical, systematic, dependent, while taking into account the unpredictability and variability of productivity. To this end, we model elasticity as a dynamically created Markov decision-making process that can be solved and verified by checking the probabilistic model. In addition, we offer a number of additional decision policies that are carefully evaluated in workloads from real footprints. Evaluation provides a clear idea of the trade-offs between productivity and value that our policies can achieve, and proves that we can avoid both excessive and inadequate collateral.*

**Key words:** *Cloud elasticity, probabilistic model verification, quantitative verification, stand-alone computing, PRISMA, NoSQL databases.*

## 1 Введение.

Облачные вычисления возникли как одна из наиболее привлекательных альтернатив для предоставления вычислительной инфраструктуры для приложений с высокими требованиями. Быстрое преобладание облаков обусловлено их способностью к достижению экономии за счет масштаба. Одним из главных преимуществ облачных вычислений является то, что они лишают необходимости приобретать дорогостоящие вычислительные ресурсы, тем самым снимая бремя высоких начальных инвестиций в проприетарные платформы от разработчиков систем. and owners. Эта характеристика дополняется емкостью для предоставления ресурсов по требованию на основе фактических текущих требований; эта особенность обычно называется эластичностью, и она является основным направлением этой работы. Эластичность определяется как «степень, которую можно адаптировать к

изменениям рабочей нагрузки путем предоставления и отмены ресурсов автономным способом, таким образом, чтобы каждый момент времени доступными ресурсами соответствовать текущему требованию как можно ближе»[12]. В этой работе мы ориентируемся на третий тип упругости, горизонтальное масштабирование, в определенных условиях, а именно в базах данных NoSQL. Эта настройка имеет следующие две характеристики, которые отличают ее от простых облачных приложений: (i) Увеличение или уменьшение количества виртуальных машин является ключевым элементом, не адаптирующимся к динамически меняющимся объемам пользовательских запросов. Однако поведение системы непредсказуемо, существенно изменчивый и не поддающийся аналитическому моделированию из-за сложности базовых механизмов, обслуживающих запросы пользователей в современной базе данных; и (ii) существуют значительные переходные периоды, в течение которых эффекты горизонтального действия не очевидны. Решение для принятия решения о горизонтальном масштабировании для баз данных NoSQL должно иметь следующие характеристики:

1. Быть систематическим и надежным. Мы выполняем это требование с помощью предложения, основанного на солидном теоретическом фоне, а именно, на анализе процессов принятия решений по Маркову (MDP). Такой подход противопоставляется более специализированным решениям, основанным на пороговых значениях (или правилах), например, [6–8,9,10,11,12], которые неизвестны быть трудно установить соответствующим образом [8]. Кроме того, для достижения надежности мы прибегаем к непрерывной проверке модели MDP системы с использованием вероятностной проверки модели [10].

2. Для учета непредсказуемости и изменчивости производительности наше решение удовлетворяет этому требованию посредством создания экземпляров модели времени исполнения с учетом последний журнал измерений. Как таковой, он не опирается на автономное моделирование или другие подходы, которые молча предполагают, что система является фиксированной, например, как в [1,2,4,11,12].

3. Рассматривать несколько целей. Горизонтальное масштабирование является изначально многоцелевой проблемой. В периоды пиковой нагрузки требуется больше ресурсов для поддержания производительности в соответствии с заданными пользователем спецификациями. Однако дополнительные ресурсы следует использовать разумно, поскольку они несут экономические издержки, либо неявно (например, более высокие счета за электроэнергию в частных облаках), либо явно (например, больше часов VM в публичных облаках, предлагающих ресурсы с использованием модели почасовой оплаты). Наши предложения четко учитывают производительность и экономические затраты при использовании виртуальных машин поставщика общедоступного облака. Более конкретно, мы стремимся минимизировать денежные затраты, сохраняя задержку ответов для пользователей ниже порогового значения; Эта проблема до сих пор не исследовалась для баз данных NoSQL. Таким образом, вклад этой работы является первым предложением на сегодняшний день для горизонтального масштабирования с учетом денежных затрат, приспособленного для баз данных NoSQL. Как упомянуто выше, отличительной особенностью нашего предложения является то, что оно использует вероятностную проверку модели во время выполнения в качестве основного механизма принятия решений. Кроме того, оно учитывает непредсказуемую и нестабильную систему поведения. Еще одна сильная особенность нашего подхода заключается в том, что оно следует за моделью развязанного дизайна, где базовая модель системы может поддерживать различные политики принятия решений. Кроме того, мы предоставляем полную информацию о реализации, охватывающую такие аспекты, как включение механизма для прогнозирования будущей внешней нагрузки, для сглаживания входящих запросов на загрузку.

## 2 Сопутствующая работа

В двух словах, наше предложение отличается от других предложений по горизонтальному масштабированию как (а) с точки зрения подхода к принятию решений, то есть с использованием проверки моделей для принятия решений об

эластичности во время выполнения, а не с использованием автономного моделирования; и (б) в том, что он предлагает двухцелевую политику горизонтального масштабирования с учетом затрат, адаптированную для NoSQL, которая демонстрирует непредсказуемое и изменчивое поведение даже при одинаковых внешних условиях, а за действием в отношении еacheasticity следует значительный переходный период. Мы разбили связанную работу на три части. Во-первых, мы обсуждаем предложения по эластичности, которые учитывают затраты, но не учитывают особенности баз данных NoSQL. Затем мы обратимся к предложениям для баз данных NoSQL, которые, однако, не учитывают денежные затраты. В-третьих, мы обсуждаем решения, которые также используют MDP, и выделяем отличия от нашего подхода.

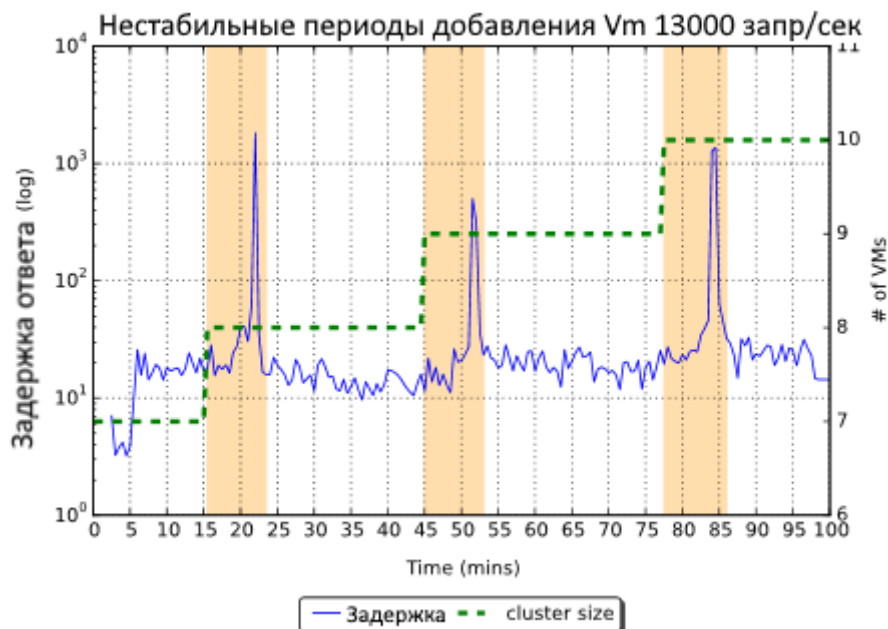
## 2.1 Эластичность для баз данных NoSQL

Как и в нашей работе, [4] рассматривается горизонтальное масштабирование кластера NoSQL, где система описывается с использованием mDP. Они предлагают косвенное решение MDP (то есть уравнения Беллмана), в котором используется подход Q-Learning. Эта работа была значительно расширена нашей предыдущей работой [5], которая, в свою очередь, расширяется. Авторы в [2] предлагают контроллер обратной связи для хранилищ значений ключей, который отслеживает рабочую нагрузку и использует модель логистической регрессии, чтобы предсказать, вызовет ли рабочая нагрузка нарушения SLA и отреагирует ли соответственно. Этот контроллер объединен с контроллером обратной связи, который контролирует производительность и реагирует на основе величины отклонения от требуемой производительности, указанной в цели уровня обслуживания (SLO). Тем не менее, он требует автономного моделирования. Существуют также работы, которые объединяют горизонтальное масштабирование с другими формами модификаций системы, таких как действия по реконфигурации системы [10,11,12]. В [11] нейронные сети используются для оценки пропускной способности и времени отклика хранилища данных в памяти (т.е. Infinispan), а затем контроллер решает задачу оптимизации ограничений для определения оптимальной конфигурации ресурса

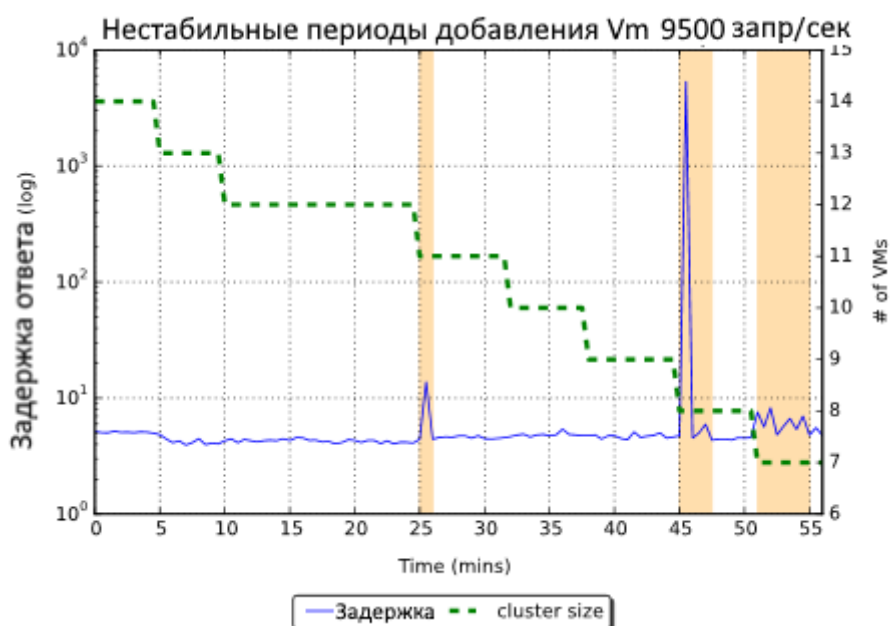
с точки зрения количества данных песка VM. Степень тиражирования. [3] использует основанную на правилах политику, чтобы определить, следует ли исключить вариант проблемы упаковки бинов, чтобы определить, требуется ли горизонтальное масштабирование до количества виртуальных машин или масштабирование максимального числа разделов данных на узел. [12] предназначается для Кассандры и предлагает подход, который использует горизонтальное масштабирование в сочетании с кэшированной динамической конфигурацией. Наконец, в [4] применяется миграция базы данных на нескольких облачных провайдеров, чтобы найти компромисс между стоимостью развертывания и нарушениями SLO. Во всех этих работах часть горизонтального масштабирования менее изощрена, чем наша, однако интересно объединить горизонтальное масштабирование с дополнительными действиями по эластичности в будущем.

## 2.2 Принятие решений на основе MDP

Также существуют работы, которые используют моделирование MDP для руководства принятием решений [2,5,7,10]. В этих работах МДП используется только для формирования и решения задачи оптимизации. Мы также используем MDP для оптимизации, однако мы дополнительно применяем проверку вероятностной модели для анализа модели, предлагая более надежный подход к принятию решений, обеспечивающий вероятностные гарантии. В [2,4] авторы предлагают косвенный подход к решению МДП, используя уравнения Беллмана. В [6] предложено приближение к оптимальному решению Беллмана, сокращающее пространство состояний задачи. Морено и соавт. в [3] использовать PRISM и PCTL для формулирования и решения модели MDP аналогично нашему подходу. В более поздней работе Moreno et al. [7], предлагают более эффективный подход к решению моделей MDP, основанный на моделях Alloy [2], однако их подход является только подходящим для решения задач оптимизации и не учитывает вероятностный анализ моделей.



**Рисунок 1. Нестабильные периоды после горизонтального упругого действия**



**Рисунок 2. Нестабильные периоды после масштабного упругого действия**

### 3 Эластичное поведение NoSQL

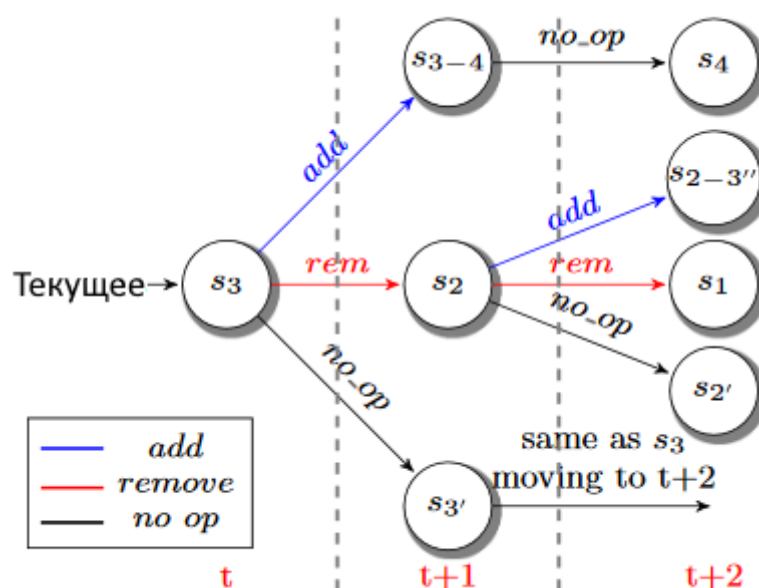
Базы данных NoSQL предназначены для распределения по нескольким узлам. Развертывание базы данных NoSQL по нескольким виртуальным машинам приводит к некоторой форме непредсказуемости производительности. В этом разделе мы приводим экспериментальные доказательства относительно

вариаций ответа на запрос (i), когда имеет место горизонтальная эластичность, и (ii) когда настройка кластера и внешняя загрузка остаются стабильными. Figure 1 ссылается на сценарий, в котором база данных Cassandra обслуживает запросы со скоростью 13 000 запросов / с в соответствии с YCSB (Yahoo! Cloud Serving Benchmark) и количеством виртуальных машин, на которых развернута база данных. Постепенно увеличивается с 7 до 10 ВМ (зеленая пунктирная линия). На рисунке синяя сплошная линия представляет задержку ответа. Мы можем видеть, что за каждым добавлением узла следует нестабильный период, то есть период с высокой задержкой отклика, который выделен на диаграмме. Продолжительность такого периода составляет примерно 10 минут. В течение этого периода данные, выделенные новой виртуальной машине, переносятся в ее память с их предыдущих хостов ленивым образом (то есть данные передаются по запросу).

#### 4 Описание модели высокого уровня.

В этой работе мы предлагаем подход к моделированию, который позволяет нам сопоставить проблему эластичности с проверочной моделью, применяя методы классической проверки моделей для ее решения. На рисунке 3 представлено упрощенное представление пространства состояний MDP и разрешенных действий в каждом из показанных состояний. Каждое состояние соответствует количеству виртуальных машин, составляющих кластер приложений (то есть кластер NoSQL), равный соответствующему количеству виртуальных машин. Нам также необходимо учитывать эволюцию среды. В нашем предложении мы периодически отслеживаем эволюцию состояния системы. Период активации механизма принятия решений, называемый этапом принятия решений, явно фиксируется моделью. Чтобы охватить эволюцию среды во времени, пространство состояний концептуально разделено на временные отрезки  $(t, t + 1, t + 2, \dots)$ , где  $t$  - период активации, и каждый раздел соответствует на четкий шаг решения. В целом, каждое состояние относится к уникальной комбинации размера кластера и шага принятия решения, но обратное не выполняется (то есть каждая комбинация шага размера может

охватываться несколькими состояниями), как это будет объяснено в ближайшее время. MDP позволяет охватить как недетерминированные, так и вероятностные аспекты моделируемой системы.



**Рисунок 3. Обзор модели 4 MDP (Цветной рисунок онлайн)**

## 5 Выводы и дальнейшая работа

В этой работе представлен принципиальный подход к горизонтальному масштабированию для эластичных баз данных NoSQL, развернутых на облачных инфраструктурах. Преследуются две противоречивые цели, а именно: минимизация затрат и предотвращение нарушений, связанных с задержками. Базовой моделью является MDP, поверх которой применяется проверка вероятностной модели для обеспечения гарантий в отношении нарушений задержки. Основной новизной этой работы является непосредственное рассмотрение денежных затрат на развертывание облака в процессе принятия решений в сочетании с предложением конкретных политик принятия решений, которые превосходят наши ранее предложенные политики в [3,5] и показали, что они способны предлагая настраиваемые компромиссы между стоимостью и задержкой. Наше предложение носит общий характер и применимо к любому эластичному приложению, демонстрирующему непредсказуемые характеристики, когда аналитические модели не могут быть получены, и

существуют существенные переходные периоды после каждого действия эластичности.

#### **Использованные источники:**

1. Али-Элдин, А., Тордссон, Дж., Элмрот, Э.: Адаптивный гибридный контроллер упругости для облачных инфраструктур. В: IEEE Network Operations and Management Symposium (NOMS), стр. 204–212 (2012).

2. Al-Shishtawy, A., Vlassov, V.: Elastman: менеджер эластичности для хранилищ эластичных ключевых значений в облаке. В: ACM Cloud и Autonomic Computing Conference, SAC'13, Майами, Флорида, США, 05–09 августа, стр. 7 (2013).

3. Ашраф А., Бихольм Б., Поррес И.Я. Крэмп: экономически эффективное распределение ресурсов для нескольких приложений с проактивным масштабированием. В: Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), с. 581–586 (2012).

4. Атанасиос, Н., Анастасиос, Г., Сиутас, С.: Клоуделость: асурвей. В: ALGOCLOUD (2015).

5. Атанасиос Н., Эммануэла С., Анастасиос Г., Панайотис К., Димитриос Т., Иоаннис К., Спирос С.С.: Надежное горизонтальное масштабирование на основе проверки вероятностной модели. В: Кластерные, облачные и сетевые вычисления (CCGrid) (2015).

6. Байравасундарам Л.Н., Саундарараджан Г., Матур В., Вруганти К., Шринивасан К. Быстро реагируют на нарушения уровня обслуживания с помощью виртуальных устройств. SIGOPS Oper. Syst. Отк. 46 (3), 32–40 (2012)

7. Barker, S.K., Chi, Y., Naciğümüs, H., Shenoy, P.J., Shuttledb, E.C.: Базисная эластичность в облаке. В: 11-я Международная конференция по автономным вычислениям, ICAC '14, Филадельфия, Пенсильвания, США, 18–20 июня, с. 33–43 (2014).

8. Бернаерт Л., Матос М., Виласа Р., Оливейра Р. Автоматическая эластичность в открытом стеке. В: Материалы семинара по безопасному и

надежному промежуточному программному обеспечению для облачного мониторинга и управления, АСМ, стр. 2. (2012).

9. Камара Дж., Морено Дж. А., Гарлан Д.: Стохастический анализ игр и понимание латентности для проактивной самоадаптации. В: Швы, стр. 155–164 (2014).

10. Карделлини, В., Казаликкио, Е., Прести, Ф.Л., Сильвестри, Л. Сла, осведомленный о ресурсном управлении для приложения-службы-поставщика услуг в облаке. В: IEEE Первый международный симпозиум по сетевым облачным вычислениям и приложениям (NCCA), стр. 20–27 (2011).

11. Чалкиадаки М., Магутис К. Управление производительностью сервиса в распределенной системе хранения кассандры. В: IEEE 5-я Международная конференция по облачным технологиям и науке, Cloud-Com 2013, Бристоль, Великобритания, 2–5 декабря, том. 1, с.64–71 (2013).

12. Копил, Г., Молдаван, Д., Труонг, Х.-Л., Дастдар, С.: Об управлении эластичностью облачных сервисов в неоднородных облаках. В: IEEE / АСМ7-я Международная конференция по утилитах и облачным вычислениям (UCC), стр. 573–578 (2014).