

УДК 004.04

Анализ архитектур для построения вычислительных рабочих процессов в распределённой среде

В.В. Гаевой, Л.С. Глоба

- Гаевой
Вадим Владимирович** *аспирант,
Национальный технический университет Украины "Киевский
политехнический институт имени Игоря Сикорского",
проспект Победы 37, Киев-56, Украина, 03056
e-mail: vadymg@outlook.com
<https://orcid.org/0000-0001-7855-3957>*
- Глоба
Лариса Сергеевна** *д.т.н., профессор; заведующий кафедрой информационно-
телекоммуникационных систем
Национальный технический университет Украины "Киевский
политехнический институт имени Игоря Сикорского",
проспект Победы 37, Киев-56, Украина, 03056
e-mail: lgloba@its.kpi.ua
<https://orcid.org/0000-0003-3231-3012>*

В статье представлена модель вычислительных рабочих процессов, которая основывается на их понимании конечным пользователем, приведён обзор различных вычислительных архитектур, таких как вычислительный кластер, Grid, Cloud Computing и SOA, для их построения в распределённой среде. Проведён сравнительный анализ возможностей архитектур для реализации вычислительных рабочих процессов, в ходе которого определено, что рабочие процессы целесообразно реализовывать на основе SOA, поскольку данный подход отвечает всем требованиям к базовой инфраструктуре и обеспечивает высокую степень распределённости вычислительных узлов, создает способность их миграции и интеграции с другими системами в гетерогенной среде. Использование архитектуры Cloud Computing может быть целесообразным при построении базовой информационной инфраструктуры для организации распределённых высокопроизводительных вычислений, так как она поддерживает общее и скоординированное использование динамически выделяемых распределённых ресурсов, позволяет в географически рассредоточенных центрах обработки данных создавать и виртуализировать высокопроизводительные вычислительные системы, которые способны самостоятельно поддерживать необходимый уровень обслуживания, а также при необходимости использовать модель Software as a Service (SaaS) для пользователей. Преимущества архитектуры облачных вычислений не позволяют конечному пользователю реализовывать проектирование бизнес-процессов автоматически, проектируя их «на лету». Очевидна необходимость построения семантически-ориентированных вычислительных рабочих процессов на базе сервис-ориентированной архитектуры с применением подхода микросервисов, онтологий и структур метаданных, что позволит формировать рабочие процессы «на лету» в соответствии с требованиями текущего запроса.

Ключевые слова: вычислительные рабочие процессы, вычислительный кластер, GRID, Cloud Computing, SOA, веб-сервисы, сервис-ориентированная архитектура, микросервисы, онтология.

Аналіз архітектур для побудови обчислювальних робочих процесів у розподіленому середовищі

В.В. Гаєвий, Л.С. Глоба

- Гаєвий
Вадим Володимирович** *аспірант
Національний технічний університет України "Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського",
проспект Перемоги 37, м.Київ-56, Україна, 03056*
- Глоба
Лариса Сергеевна** *д.т.н., профессор; заведующий кафедрой информационно-
телекоммуникационных систем
Национальный технический университет Украины "Киевский
политехнический институт имени Игоря Сикорского",
проспект Победы 37, Киев-56, Украина, 03056*

У статті представлено модель обчислювальних робочих процесів, яка базується на сприйнятті їх кінцевим користувачем, і приведений огляд різних обчислювальних архітектур, таких як обчислювальний кластер, Grid, Cloud Computing і SOA, для їх побудови в розподіленому середовищі. Проведено порівняльний аналіз можливостей архітектур для реалізації обчислювальних робочих процесів, в ході якого визначено, що робочі процеси доцільно реалізовувати на

основі SOA, оскільки такий підхід відповідає всім вимогам до базової інфраструктури і забезпечує високу ступінь розподіленості обчислювальних вузлів, створює здатність їх міграції та інтеграції з іншими системами в гетерогенному середовищі. Використання архітектури Cloud Computing може бути доцільним при побудові базової інформаційної інфраструктури для організації розподілених високопродуктивних обчислень, так як вона підтримує загальне і скоординоване використання розподілених ресурсів, які виділяються динамічно, дозволяє в географічно розосереджених центрах обробки даних створювати і віртуалізувати високопродуктивні обчислювальні системи, здатні самостійно підтримувати необхідний рівень обслуговування, а також при необхідності використовувати модель Software as a Service (SaaS) для користувачів. Переваги архітектури хмарних обчислень не дозволяють кінцевому користувачу реалізувати проектування бізнес-процесів автоматично, проектуючи їх «на льоту». Найважливішою є необхідність побудови семантично-орієнтованих обчислювальних робочих процесів на базі сервіс-орієнтованої архітектури із застосуванням підходу мікросервісів, онтологій і структур метаданих, що дозволить формувати робочі процеси «на льоту» відповідно до вимог поточного запиту.

Ключові слова: обчислювальні робочі процеси, обчислювальний кластер, GRID, Cloud Computing, SOA, веб-сервіси, сервіс-орієнтована архітектура, мікросервіси, онтологія.

The architectures analyzing for computational workflows designing in a distributed environment

V. Gaievyi, L. Globa

Gaievyi Vadym

PhD student

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Peremohy Ave., Kyiv-56, Ukraine, 03056

Globa Larisa

Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Information and Telecommunication Systems

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Peremohy Ave., Kyiv-56, Ukraine, 03056

The paper presents a model of computational workflows based on end-user understanding and provides an overview of various computational architectures, such as computing cluster, Grid, Cloud Computing, and SOA, for building workflows in a distributed environment. A comparative analysis of the capabilities of the architectures for the implementation of computational workflows has shown that the workflows should be implemented on the basis of SOA, since it meets all the requirements for the basic infrastructure and provides a high degree of compute node distribution, as well as their migration and integration with other systems in a heterogeneous environment. Using Cloud Computing architecture may be efficient for building a basic information infrastructure for the organization of distributed high-performance computing, since it supports the general and coordinated dynamic allocation of distributed resources, allows geographically dispersed data centers to create and virtualize high-performance computing systems that are able to independently support the necessary QoS level and to use the Software as a Service (SaaS) model for end-users, if necessary. The advantages of the Cloud Computing architecture do not allow the end user to design the business processes automatically, performing this process "on the fly". At the same time, there is the obvious need to create semantically oriented computing workflows based on a service-oriented architecture by using a microservices approach, ontologies and metadata structures, which will allow creating workflows "on the fly" in accordance with the current request requirements.

Key words: computing workflows, computing cluster, GRID, Cloud Computing, SOA, web services, service-oriented architecture, microservices, ontologies.

1. Введение

На сегодняшний день многие организации и компании сталкиваются с проблемой больших данных, различных по своей природе и требующих различных математических методов их обработки. На основании этих данных требуется определить параметры, по которым нужно выполнять аналитические расчёты и выдавать обобщённую информацию, выполнять аналитическую обработку этих данных и решать другие вычислительные задачи.

Такие задачи представляют в виде рабочего процесса, т.е. последовательности вычислительных шагов, которые составляют вычислительные этапы и стадии обработки информации. Вместе с тем, общая эффективность выполнения распределённых вычислений для решения аналитических задач может быть низкой, поскольку они характеризуются большим объёмом вычислений и, соответственно, повышают требования к вычислительным ресурсам, причем объём необходимых вычислительных ресурсов зависит от конкретных текущих задач, которые решаются.

В связи с этим, задача определения требований к базовой инфраструктуре построения вычислительных рабочих процессов, а также проведение сравнительного анализа их архитектур является актуальной.

В данной работе приведен сравнительный анализ высокопроизводительных вычислительных архитектур, таких как вычислительный кластер, Grid, Cloud Computing, и веб-службы для построения инфраструктуры выполнения вычислительных рабочих процессов.

Эта статья структурирована следующим образом: в разделе 1 описывается общая характеристика вычислительных рабочих процессов, их структура и математическая модель. В разделе 2 приводится обзор вычислительных архитектур, таких как вычислительный кластер, Grid, Cloud Computing и Сервис-ориентированная архитектура. В разделе 3 проводится сравнительный анализ возможностей вычислительных архитектур для реализации вычислительных рабочих процессов по ряду критериев и требований. В разделе 4 приводятся результаты анализа и даются рекомендации по построению вычислительных рабочих процессов на различных архитектурах и платформах. В разделе 5 даются общие выводы, описываются нерешённые проблемы и планы дальнейшего исследования.

2. Общая характеристика вычислительных рабочих процессов

Вычислительным рабочим процессом (workflow) будем называть некое описание последовательности вычислительных действий (этапов обработки данных), представленных в виде отдельных структурных программных компонент, отвечающих за конкретную функциональность и работающих автономно.

Модель вычислительных рабочих процессов служит для представления цепочки реальных вычислительных задач, оценки и анализа их эффективности, а также описания часто повторяющейся последовательности операций обработки данных.

Поскольку данные вычислительные компоненты могут быть распределены по сети, то многие алгоритмы, используемые каждым из компонентов, максимально ориентированы на распараллеливание данных в процессе их анализа, а также на гибкое управление параллельными процессами с целью достижения высокой эффективности применения аппаратных ресурсов. Вопросам автоматизации проектирования бизнес-процессов в распределенной среде посвящены работы [1,2,3], особенности архитектуры HPC Cluster представлены в работе [4], а в работе [5] анализируются особенности архитектуры распределенной интегрированной среды вычислительной Grid – среды, в [10] – архитектурные решения, используемые в системах Cloud Computing. Подходы к построению бизнес-процессов с использованием Web-service технологий рассмотрены в [7,8,9]. Общие подходы и рекомендации к построению оптимизированной информационной инфраструктуры рассмотрены в работе [10]. Вместе с тем, построение оптимальной инфраструктуры для хостинга бизнес-процессов остается нетривиальной задачей, требующей учета особенностей инфраструктуры распределенной среды, подходов к построению бизнес-процессов и организации выполнения самого вычислительного процесса в такой среде.

Общая схема вычислительного рабочего процесса может быть представлена на рисунке ниже (см. *Рисунок 1*).

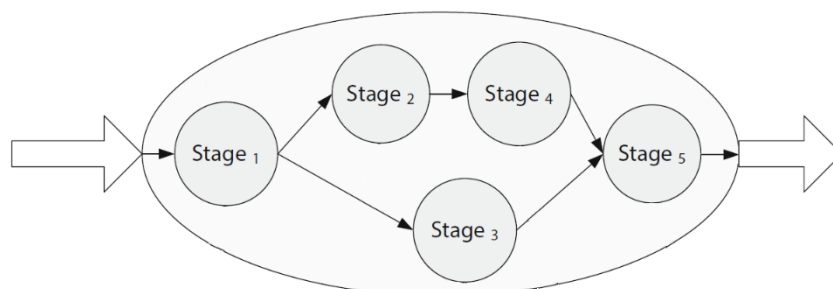


Рисунок 1 Общая схема рабочего процесса

Вычислительный рабочий процесс состоит из набора этапов (Stages), которые могут выполняться последовательно и параллельно. Каждый этап состоит из набора задач (tasks) которые, в свою очередь, тоже могут выполняться последовательно и параллельно. Кроме того, рабочий процесс может содержать требования к вычислительной среде. Математически это можно представить следующим образом:

$$W = \{S_i\} \rightarrow \left\{ \{T_{ij}\}, \{M_{req_{ij}}, P_{req_{ij}}, t_{max_{ij}}\} \right\},$$

где W – вычислительный рабочий процесс;

S_i – i -й этап рабочего процесса;
 T_{ij} – j -я задача i -го этапа;
 M_{reqij} – требования к оперативной памяти для выполнения j -й задачи i -го этапа;
 P_{reqij} – требования к процессору для выполнения j -й задачи i -го этапа;
 t_{maxij} – требования по максимально допустимому времени выполнения j -й задачи i -го этапа.
 Вычисления проводятся в вычислительной системе, который состоит из набора узлов:

$$DC = \{N_k\},$$

где DC – вычислительный центр;
 N_k – k -й узел вычислительного центра.

В распределённой слабосвязанной гетерогенной среде узлы могут быть территориально распределены и не зависеть друг от друга, но должны быть объединены в одну вычислительную сеть.

Каждый узел обладает вычислительными ресурсами:

$$N_k = \{M_k, P_k\},$$

где M_k – объем доступных ресурсов оперативной памяти у k -го узла;
 P_k – объем доступных процессорных ресурсов у k -го узла.

Тогда при выполнении вычислительных задач на k -м узле необходимо будет выделить следующий объем ресурсов i -й задаче:

$$\begin{cases} M_{k_i} = f_M(T_i), \bigcup_{i=1}^n M_{k_i} \subset M_k, M_{k_p} \cap M_{k_q} = \emptyset \forall k, p: k \neq p \\ P_{k_i} = f_P(T_i), \bigcup_{i=1}^n P_{k_i} \subset P_k, P_{k_p} \cap P_{k_q} = \emptyset \forall k, p: k \neq p \end{cases}$$

Выделим основные цели при проектировании инфраструктуры вычислительных рабочих процессов:

- сокращение времени вычислений и анализа;
- сокращение стоимости анализа за счет более эффективной утилизации имеющихся вычислительных ресурсов;
- повышение доступности вычислительных сервисов и обеспечение их целостности и конфиденциальности.

3. Обзор вычислительных архитектур

На сегодняшний день существует несколько высокопроизводительных вычислительных архитектур, каждую из которых можно использовать для построения инфраструктуры вычислительных рабочих процессов:

- Вычислительный кластер;
- Grid;
- Cloud Computing;
- Сервис-ориентированная архитектура.

Вычислительный кластер. На физическом уровне архитектура кластера представляет собой два или более серверов (узлов), соединённых высокоскоростным каналом связи, они имеют одинаковую аппаратную или виртуализированную архитектуру, одну и ту же операционную систему и представляются в качестве единого информационно-вычислительного ресурса. Вычислительные кластеры позволяют уменьшить время расчетов, по сравнению с одиночным компьютером, разбивая задачу на ветви, выполняющиеся параллельно, и обменивающиеся данными по сети. Для вычислительных кластеров существенными показателями являются высокая производительность процессора в операциях над числами с плавающей точкой (flops) и низкая латентность объединяющей сети, менее существенными – скорость операций ввода-вывода.

Grid. Вычислительная Grid – это архитектура распределенных вычислений, в которой вычислительные ресурсы представлены в виде распределенных кластеров, соединенных с помощью сети. Технологии Grid поддерживают совместное и скоординированное использование разнородных ресурсов в динамических распределенных виртуальных секциях. Это даёт возможность создавать виртуальные вычислительные системы с географически

рассредоточенными компонентами, способных совместно поддерживать необходимый уровень обслуживания. Grid с точки зрения сетевой организации представляет собой согласованную, открытую и стандартизированную среду, обеспечивающую гибкое, безопасное, скоординированное разделение вычислительных ресурсов и ресурсов хранения информации, которые являются частью этой среды, в рамках одной виртуальной организации.

Cloud Computing. Cloud Computing – это архитектура распределенных информационных систем с доступом по требованию к распределенным вычислительным ресурсным пулам (например, сетей, серверов, систем хранения данных, сервисов), ресурсы которых могут быть быстро предоставлены и задействованы с минимальными усилиями по управлению и взаимодействию с поставщиком услуг. Архитектура Cloud Computing позволяет предоставить гибкую и масштабируемую ИТ-инфраструктуру, или программную платформу, в которой вычислительные ресурсы выделяются динамично, по требованию для решения вычислительных задач.

Сервис-ориентированная архитектура (SOA). Сервис-ориентированная архитектура – это архитектура распределенных информационных систем, которая обладает модульным подходом к проектированию программных решений. В основе архитектуры лежит принцип, основанный на использовании распределённых, слабо связанных заменяемых компонентов, оснащённых стандартизированными интерфейсами для взаимодействия по стандартизированным протоколам.

4. Сравнительный анализ возможностей вычислительных архитектур для реализации вычислительных рабочих процессов

Спроектировать инфраструктуру вычислительных рабочих процессов можно на основе каждой из этих вычислительных архитектур.

Рассмотрим краткое сравнение основных их свойств (табл. 1):

Таблица 1 Сравнение свойств вычислительных архитектур

Свойство	Вычислительный кластер	Grid	Cloud Computing	SOA
Распределение вычислительных ресурсов	Распределение строго фиксированное и ограничено рамками самого кластера	Совместное использование ресурсов (виртуальные организации). Ресурсы могут быть распределены только в рамках инфраструктуры Grid	Ресурсы выделяются по требованию, в соответствии с нагрузкой, но могут быть распределены только в рамках облачной инфраструктуры вендора	Ресурсы могут выделяться по требованию, в соответствии с нагрузкой, и их распределение не ограничено конкретно выделенной платформой или инфраструктурой.
Степень возможности миграции вычислительных ресурсов	Отсутствует	Отсутствует	Ограниченна рамками инфраструктуры Cloud-провайдера	Высокая
Неоднородность ресурсов	Объединение однородных ресурсов	Объединение гетерогенных ресурсов	Вычислительные ресурсы могут быть гетерогенны	Вычислительные ресурсы могут быть гетерогенны
Виртуализация	Виртуализация может использоваться при необходимости	Ресурсы не виртуализируются	Полная виртуализация аппаратных и программных ресурсов	Виртуализация используется в большинстве случаев

Свойство	Вычислительный кластер	Grid	Cloud Computing	SOA
Самообслуживание	Отсутствует	На уровне само-организации Grid-узлов	Автоматизированное управление динамической инфраструктурой, может возможность самовосстановления после сбоев	Отсутствует
Степень централизованности	Централизованный контроль	Децентрализованный контроль	Централизованный контроль	Централизованный контроль
Степень гибкости интеграции с другими системами в гетерогенной среде	Низкая	Низкая	Средняя	Высокая
Сложность развёртывания/управления инфраструктурой	Простой в развёртывании и управлении	Сложный в развёртывании и управлении	Сложный в развёртывании, простой в управлении	Простой в развёртывании и управлении
Доступ	Через локальную (корпоративную) сеть	Через программное обеспечение промежуточного уровня	Через сеть Интернет	Через корпоративную сеть/сеть Интернет
Гарантии SLA	Отсутствуют	Отсутствуют	Гарантируется SLA	Отсутствуют

Для построения инфраструктуры вычислительных рабочих процессов также необходимо определить группу основных требований к базовой информационной инфраструктуре. Среди них можно выделить следующие:

- Надежность и отказоустойчивость;
- Доступность;
- Масштабируемость;
- Безопасность;
- Совокупная стоимость владения.

Надежность и отказоустойчивость. Одним из основных требований к инфраструктуре вычислительных рабочих процессов является требование обеспечения надежности предоставления услуги. Пользователи должны быть уверены в надежности, предсказуемости и высоком уровне доступности сервиса. Недостаточный уровень показателя отказоустойчивости может привести к отказу в обслуживании в критический момент при расчете, что может быть недопустимо для ряда вычислительных систем.

Доступность. Решение должно быть доступным как для бизнес-аналитиков, так и обслуживающего персонала. Должна быть возможность обеспечить доступность сервисов с мобильных рабочих мест.

Масштабируемость. Масштабируемость - важный аспект распределенных вычислительных систем, поскольку для работы вычислительных рабочих процессов может быть необходима возможность работы под большой нагрузкой. Система называется масштабируемой, если она

имеет возможность наращивания дополнительных ресурсов без архитектурных и структурных изменений ее компонентов.

Безопасность. Должна быть в полной мере обеспечена конфиденциальность и целостность, как самих сервисов, так и данных.

Совокупная стоимость владения. Построение высокопроизводительных вычислительных комплексов стоит дорого, поэтому при развертывании инфраструктуры вычислительных рабочих процессов необходимо учитывать и совокупную стоимость решения.

В табл. 2 приводится сравнительный анализ вычислительных архитектур по критерию соответствия требованиям к инфраструктуре вычислительных рабочих процессов к базовой информационной инфраструктуре.

Таблица 2 Соответствие требованиям к инфраструктуре вычислительных архитектур

Требование	Вычислительный кластер	Grid	Cloud Computing	SOA
Надежность и отказоустойчивость	Обеспечивается базовой инфраструктурой функционирования кластера	Обеспечивается путём введения избыточных Grid узлов	Обеспечивается на уровне архитектуры решения	Обеспечивается базовой инфраструктурой функционирования сервисов
Доступность	Построить высокодоступную систему дорого, при этом получить сверхвысокий показатель SLA практически невозможно	Поскольку топология Grid может постоянно меняться, сложно гарантировать определённый уровень доступности.	Может представлять сверхвысокий показатель SLA, порядка 99,99%	Доступность решения зависит от надежности и отказоустойчивости базовой информационной инфраструктуры в целом
Масштабируемость	Масштабируемость на уровне добавления / удаление узлов кластера	Масштабируемость на уровне добавления / удаление узлов Grid	Динамическое и мгновенное масштабирование ресурсов в соответствии с потребностями	Масштабирование на уровне добавления / удаление узлов фермы
Безопасность	Безопасность решение зависит от безопасности базовой информационной инфраструктуры в целом	Безопасность решение зависит от конфигурации взаимодействия между узлами и выбранной политики контроля доступа	Безопасность системы гарантируется провайдером инфраструктуры Cloud Computing	Безопасность решения зависит от безопасности базовой информационной инфраструктуры в целом
Общая стоимость владения	Включает в себя как начальные инвестиции в базовую информационную инфраструктуру так и затраты на их обслуживание	Включает в себя как начальные инвестиции на построение и развертывание инфраструктуры GRID так и затраты на их обслуживание	Включает в себя только затраты на развертывание вычислительных рабочих процессов	Зависит от среды развёртывания. Может включать в себя как начальные инвестиции в базовую информационную инфраструктуру так и затраты на их обслуживание.

Как видно из табл. 1 и табл. 2, архитектуры вычислительный кластер и Grid при построении инфраструктуры вычислительных рабочих процессов не обеспечивают необходимую гибкость управления системой и масштабирование, а также не обладают необходимой эластичностью при выделении вычислительных ресурсов.

В то же время, использование архитектуры Cloud Computing при построении инфраструктуры вычислительных рабочих процессов имеет следующие преимущества:

- Управление инфраструктурой вычислительных рабочих процессов сводится к управлению непосредственно сервисами, при этом обеспечение работоспособности аппаратной и программной составляющей обслуживающей среды берёт на себя инфраструктура Cloud Computing и вендор.
- Обеспечение динамичного и мгновенного масштабирования ресурсов пропорционально со спросом. Выделение вычислительных ресурсов может быть неограниченным с точки зрения сервиса и эти ресурсы могут быть получены в любом количестве и в любое время.

Однако, архитектура Cloud Computing не обладает рядом преимуществ, которыми обладают решения, построенные на базе архитектуры веб-сервисов, а именно:

- Высокая степень распределённости вычислительных узлов. Вычислительные узлы могут быть распределены по всему миру без привязки к конкретному вендору либо провайдеру предоставления услуг.
- Высокая степень миграции вычислительных узлов. Вычислительные узлы можно легко мигрировать с одной вычислительной инфраструктуры в другую без привязки к аппаратным или платформенным зависимостям.
- Высокая степень интеграции с другими системами в гетерогенной среде. Используя открытые протоколы и стандарты, архитектура веб-сервисов является платформенно-независимой и легко может быть интегрирована с другими системами не зависимо от аппаратно-программных особенностей вендора предоставления услуг.

Вместе с тем, существенные преимущества, которые дает архитектура Cloud Computing связаны и с определенными проблемами, которые требуется решать при автоматизации проектирования бизнес-процессов «на лету» конечным пользователем:

- Отсутствие семантически-ориентированных моделей вычислительных рабочих процессов на базе сервис-ориентированной архитектуры, учитывающих накопленный опыт разработчиков;
- Отсутствие подходов и мета-моделей, микросервисов, позволяющих выполнять их интеграцию «на лету»;
- Отсутствие онтологий и структур метаданных, описывающих все объекты как вычислительной среды, так и компонент, правила их соединения, выполняющие вычисления, хранение и обработку данных.

5. Рекомендации

Сравнительный анализ показал, что использование технологии Cloud Computing может быть целесообразно при построении базовой информационной инфраструктуры для организации распределенных высокопроизводительных вычислений.

Cloud Computing поддерживает общее и скоординированное использование динамически выделяемых распределенных ресурсов. Использование этой архитектуры позволит в географически рассредоточенных центрах обработки данных создавать и виртуализировать высокопроизводительные вычислительные системы, которые способны самостоятельно поддерживать необходимый уровень обслуживания, а также при необходимости использовать модель Software as a Service (SaaS) для пользователей.

В то же время, архитектура Cloud Computing сама по себе не обладает рядом положительных свойств, которые присущи сервис-ориентированной архитектуре и веб-сервисам. Построение инфраструктуры вычислительных рабочих процессов на базе архитектуры веб-сервисов даёт возможность обеспечить высокую степень распределённости вычислительных узлов, а также их миграции при необходимости.

Сервис-ориентированная архитектура обеспечивает высокую степень интеграции с другими системами в гетерогенной среде.

Поэтому для построения решений инфраструктуры вычислительных рабочих процессов может быть рекомендовано использование сервис-ориентированной архитектуры, но при этом размещать вычислительные узлы системы в среде Cloud Computing, что позволит получить все преимущества каждой архитектуры в отдельности.

6. Выводы

На основе проведенного сравнительного анализа вычислительных архитектур можно сделать вывод, что архитектура Cloud Computing полностью соответствует предъявляемым требованиям к базовой инфраструктуре вычислительных рабочих процессов и имеет ряд преимуществ, по сравнению с кластерной архитектурой и архитектурой Grid.

Использование Cloud Computing может быть целесообразным при построении базовой информационной инфраструктуры для организации распределенных высокопроизводительных вычислений, в связи с тем, что Cloud Computing поддерживает общее и скоординированное использование динамически выделяемых распределенных ресурсов. Использование этой архитектуры позволит в географически рассредоточенных центрах обработки данных, создавать и виртуализировать высокопроизводительные вычислительные системы, которые способны самостоятельно поддерживать необходимый уровень обслуживания, а также при необходимости использовать модель Software as a Service (SaaS) для пользователей.

Применение подходов сервис-ориентированной архитектуры для построения вычислительных рабочих процессов даёт возможность обеспечить высокую степень распределённости вычислительных узлов, а также их миграции.

Сервис-ориентированная архитектура обеспечивает высокую степень интеграции с другими системами в гетерогенной среде.

Дальнейшие исследования будут продолжены в направлении изучения возможности построения семантически-ориентированных вычислительных рабочих процессов на базе сервис-ориентированной архитектуры с применением подхода микросервисов, онтологий и структур метаданных, что, позволит формировать рабочие процессы динамически, «на лету».

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Adams, A.H.M. ter Hofstede, N. Russell. Modern Business Process Automation: YAWL and its Support Environment. – Berlin: Springer-Verlag, 2010. – pp 591-596, <https://www.springer.com/gp/book/9783642031205>
2. L. Globa, T. Kot, A. Schill, A. Strunk. Method of IBIS design and workflow realization. – "Polish J. of Environ. Stud." Vol. 18, No. 4a (2009), pp.: 35-38, [http://www.its.kpi.ua/itm/lgloba/Lists/publications/Attachments/15/\(11\)--TUD_IBIS_Shill_Globa_NTUU_KPI_camera_ready.pdf](http://www.its.kpi.ua/itm/lgloba/Lists/publications/Attachments/15/(11)--TUD_IBIS_Shill_Globa_NTUU_KPI_camera_ready.pdf)
3. L. Globa, T. Kot, A. Schill. Applying business process modeling method when Telecommunication services development. – 121-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2011). Материалы конф. - Севастополь, Крым, Украина 2011. Т.1, С. 457 - 458. ISBN 978-966-335-352-4, IEEE Catalog Number СП 1788, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6069007>
4. High Performance Computing and Windows Compute Cluster Server [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/technet-magazine/cc194411\(v=msdn.10\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/technet-magazine/cc194411(v=msdn.10))
5. Величкевич С.В. Распределенная, интегрированная вычислительная среда Grid /С.В. Величкевич, А.И. Петренко // Электроника и связь, №19, 2003 – с.36-42, http://old.elc.kpi.ua/images/pdf/soderjanie/Soderjanie_19.pdf
6. The NIST Definition of Cloud Computing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf>
7. K. Modi, G. Sanjay. Dynamic Web Services Composition using Optimization Approach. – International Journal of Computer Science & Communication, vol 6, number 2, 2015 pp. 285-293, <http://csjournals.com/IJCSC/PDF6-2/46.%20Kirti.pdf>
8. S. Seheon, L. Seok-Won. A goal-driven approach for adaptive service composition using planning. – Mathematical and Computer Modelling 58 (2013) 261–273, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895717712002154>

10. Business process execution language for Web services. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/wsbpel-v2.0.pdf>.
11. SAM Infrastructure Optimization Assessment [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.microsoft.com/en-us/sam/infrastructure-optimization.aspx>

REFERENCES

1. M. Adams, A.H.M. ter Hofstede, N. Russell. Modern Business Process Automation: YAWL and its Support Environment. – Berlin: Springer-Verlag, 2010. - pp 591-596, <https://www.springer.com/gp/book/9783642031205>
2. L. Globa, T. Kot, A. Schill, A. Strunk. Method of IBIS design and workflow realization. – "Polish J. of Environ. Stud " Vol. 18, No. 4a (2009), pp.: 35-38, [http://www.its.kpi.ua/itm/lgloba/Lists/publications/Attachments/15/\(11\)--TUD_IBIS_Shill_Globa_NTUU_KPI_camera_ready.pdf](http://www.its.kpi.ua/itm/lgloba/Lists/publications/Attachments/15/(11)--TUD_IBIS_Shill_Globa_NTUU_KPI_camera_ready.pdf)
3. L. Globa, T. Kot, A. Schill. Applying business process modeling method when Telecommunication services development. – 121-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2011). Материалы конф. - Севастополь, Крым, Украина 2011. Т.1, С. 457 - 458. ISBN 978-966-335-352-4, IEEE Catalog Number СП 1788, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6069007>
4. High Performance Computing and Windows Compute Cluster Server [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/technet-magazine/cc194411\(v=msdn.10\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/technet-magazine/cc194411(v=msdn.10))
5. S Velykevych, Distributed Integrated Computing Environment Grid, 2003 – pp.36-42. [in Russian], http://old.elc.kpi.ua/images/pdf/soderjanie/Soderjanie_19.pdf
6. The NIST Definition of Cloud Computing: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf>
7. K. Modi, G. Sanjay. Dynamic Web Services Composition using Optimization Approach. – International Journal of Computer Science & Communication, vol 6, number 2, 2015 pp. 285-293, <http://csjournals.com/IJCSC/PDF6-2/46.%20Kirti.pdf>
8. S. Seheon, L. Seok-Won. A goal-driven approach for adaptive service composition using planning. – Mathematical and Computer Modelling 58 (2013) 261–273, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895717712002154>
10. Business process execution language for Web services. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/wsbpel-v2.0.pdf>.
11. SAM Infrastructure Optimization Assessment [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.microsoft.com/en-us/sam/infrastructure-optimization.aspx>