

**Національна академія наук України
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова**

САЛЬНИКОВ Андрій Олександрович

УДК 004.75, 004.415.2

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ІНТЕГРАЦІЇ
ВІРТУАЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ В ГРІД-ІНФРАСТРУКТУРИ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Київ – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі комп'ютерної інженерії радіофізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Науковий керівник: кандидат фізико-математичних наук, доцент
Бойко Юрій Володимирович,
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка,
доцент кафедри комп'ютерної інженерії,
начальник Інформаційно-обчислювального центру.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Алішов Надір Ісмаїл-Огли,
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова
НАН України,
провідний науковий співробітник,

кандидат технічних наук
Давиденко Анатолій Миколайович,
Інститут проблем моделювання в енергетиці
імені Г.Є. Пухова НАН України,
старший науковий співробітник.

Захист відбудеться « 18 » червня 2014 р. о(об) 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.194.03 в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України за адресою:
03680, МСП, Київ-187, проспект Академіка Глушкова, 40.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічному архіві Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України за адресою:
03680, МСП, Київ-187, проспект Академіка Глушкова, 40.

Автореферат розісланий « 16 » травня 2014 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.О. РОМАНОВ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Вирішення актуальних передових задач науки і техніки на сьогодні фактично неможливе без використання обчислювальних ресурсів. Для найбільш масштабних досліджень як, наприклад, обробка даних Великого адронного колайдеру, такі ресурси визначаються масштабами обчислювальних систем всього світу.

Технологія, в рамках якої досліджуються та створюються методи та засоби об'єднання географічно розподілених комп'ютерних систем, дістала назву «грід».

Визначення «грід» по-різному сформульовані в літературі, проте, всі вони висвітлюють множину характеристик, які формують концепцію системи: масштабованість у широких межах, географічний розподіл, гетерогенність, розподіл управління, координування ресурсів, прозорий доступ, залежний від умов доступ, адаптивний доступ.

Серед проектів, що заклали фундамент у грід-технологіях і сформували основоположні методи та методика роботи, слід відзначити такі, як: Worldwide LHC Computing Grid (WLCG), Globus Toolkit, European Data Grid (EDG), Enabling Grids for E-science (EGEE), Nordic DataGrid Facility (NDGF), Open Science Grid (OSG).

Координація роботи грід-інфраструктури в Європі відбувається в межах проекту European Grid Infrastructure (EGI), основним завданням якого є надання доступу до грід-інфраструктури обчислювальних ресурсів та ресурсів зберігання даних європейським науковцям, що працюють в будь-якій галузі науки. Для досягнення такої мети актуальним завданням є розробка методів, які забезпечать ефективну взаємодію дослідників та існуючого грід-середовища.

Зокрема в Україні, спираючись на досвід роботи в грід з задачами європейського центру ядерних досліджень CERN, у 2006 р. створено Український академічний грід, надалі – Українську національну грід-інфраструктуру (УНГ), що на сьогодні, в тому числі завдяки вирішеним у даній роботі науковим задачам, стала частиною EGI.

Одним з ключових понять, закладених в основоположних теоретичних працях з технологій грід, яким оперують методи та реалізації сервісів програмного забезпечення, є «віртуальна організація (ВО)». Вона відображає об'єднання дослідників, що використовують грід-інфраструктуру як фундамент для вирішення ресурсоємних задач. Питання інтеграції ВО з грід-інфраструктурами є актуальним для побудови ефективних методів розподілу та використання існуючих грід-ресурсів і на сьогодні залишаються невирішеними. Це зумовлює необхідність розробки методу, що забезпечить інтеоперабельність, цілісність та відмовостійкість роботи ВО у грід-інфраструктурах.

Інтеграція ВО у грід-інфраструктури складається з трьох етапів: формування конфігурації провайдерів ресурсів для відображення структури ВО на систему керування завданнями, керування учасниками ВО та керування розрахунком задачами ВО у грід-інфраструктурах. Всі етапи мають прямий зв'язок між собою і це зумовлює необхідність формування формалізованих методик побудови програмних засобів для грід-інфраструктур.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в рамках наступних державних програм:

«Інформаційні та комунікаційні технології в освіті і науці»:

– тема «Розроблення і впровадження Grid-інфраструктури та програмних засобів високопродуктивних науково-технічних розрахунків для наукових та освітніх установ України» (номер держреєстрації 0107U007659, 2007–2008 рр.);

– тема «Створення комплексної веб-орієнтованої системи віртуальних лабораторій в GRID-інфраструктурі високопродуктивних обчислень для наукових та освітніх установ України» (номер держреєстрації 0109U006069, 2009–2010 рр.);

«Впровадження грід-технологій і створення кластерів в НАН України»:

– тема «Розвинення віртуальної лабораторії MolDynGrid як частини Української академічної Грід-інфраструктури» (номер держреєстрації 01090004889, 2009 р.);

Державна цільова науково-технічна програма «Впровадження і застосування грід-технологій на 2009–2013 роки»:

– тема «Розробка та впровадження комп'ютерних сервісів для аналізу молекулярної динаміки білків в віртуальній лабораторії MolDynGrid та її інтеграція в європейську грід-інфраструктуру» (номер держреєстрації 0110U005745, 2010–2012 рр.);

– тема «Розробка і впровадження Грід-технологій в моделювання нейросистем» (номер держреєстрації 0110U005280, 2010–2012 рр.);

– тема «Розробка системи тестування та моніторингу кластерів на базі Nordugrid ARC в Українській грід-інфраструктурі» (номер держреєстрації 0110U006677, 2010 р.);

– тема «Засоби забезпечення надійності збереження даних та керування ресурсами в грід інфраструктурі для наукових та освітніх установ України на базі технології IBM Mainframe» (номер держреєстрації 0111U005489, 2011–2012 рр.);

У всіх зазначених науково-дослідних темах автор роботи є одним з авторів та виконавців проекту.

Мета та задачі дослідження. Мета дисертаційного дослідження – створення методу інтеграції ВО у грід-інфраструктури з урахуванням вимог інтероперабельності, цілісності та відмовостійкості роботи ВО у грід-інфраструктурах, що забезпечує ефективну роботу ВО на сучасних провайдерах грід-ресурсів.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовано і вирішено такі науково-прикладні задачі:

– аналіз існуючих програмних засобів для побудови грід-інфраструктур, які використовуються для проведення наукових досліджень та наявних методів взаємодії ресурсних грід-інфраструктур з ВО. Дослідження сучасних технологій і протоколів, які дозволяють найбільш доцільним способом вирішити поставлену задачу;

– розробка методу інтеграції ВО у грід-інфраструктури з забезпеченням інтероперабельності, цілісності та відмовостійкості для організації досліджень з використанням грід-технологій у різних галузях науки і техніки;

- формування методу відображення внутрішньої структури ВО на локальну систему керування завданнями обчислювального кластеру для застосування інтероперабельних політик виділення ресурсів;

- розробка методу побудови масштабованої служби засвідчення та керування участю в ВО з забезпеченням високої доступності. Реалізація програмних засобів, що втілюють розроблені методи, та дослідження показників масштабованості розроблених засобів;

- розробка та дослідження формалізованих методик побудови служб керування завданнями ВО у грид-інфраструктурах. Визначення та реалізація множини сервісних функцій, що вирішують задачу автоматичного керування завданнями ВО;

- дослідження та застосування розроблених методів за умов інтеграції ВО в Український національний грид.

Об'єкт дослідження – процес інтеграції ВО у грид-інфраструктури, що забезпечує інтероперабельність, цілісність та відмовостійкість роботи ВО у грид-інфраструктурах.

Предмет дослідження – внутрішня структура ВО, провайдери ресурсів грид-інфраструктур, служба керування участю в ВО, системи керування завданнями ВО.

Методи дослідження. У роботі використано метод системного підходу до дослідження грид-інфраструктури як цілісної множини елементів, що використовується як інструмент для аналізу та синтезу сукупності відношень і зв'язків між віртуальними організаціями та іншими елементами грид-системи; методи захисту інформації з використанням інфраструктури відкритих ключів, що використовуються для дослідження процесів аутентифікації та забезпечення цілісності даних; сучасні методи проектування програмного забезпечення.

Наукова новизна отриманих результатів. У роботі отримані нові наукові результати, які виносяться до захисту і полягають у наступному:

- розроблено метод інтеграції ВО в грид-інфраструктури, який завдяки формуванню необхідних зв'язків між сервісами грид-інфраструктури та ВО забезпечує інтероперабельність, цілісність та відмовостійкість роботи ВО в грид. Визначено шляхи практичної реалізації методу;

- уперше запропоновано та розроблено метод забезпечення виконання політик доступу до черг локальної системи керування завданнями, що шляхом використання методів ідентифікації інфраструктури відкритих ключів дозволяє досягти інтероперабельного виділення ресурсів віртуальним організаціям. Метод дозволяє забезпечити ефективне керування ресурсами та виділити цільові розрахунки ВО як пріоритетні;

- уперше запропоновано метод побудови масштабованої служби засвідчення та керування участю в ВО, що шляхом використання єдиного механізму обробки запитів та методів реплікації даних на рівні застосувань грид, забезпечує масштабованість та високу доступність служби і дозволяє вирішити задачу централізованого обслуговування ВО на національному рівні;

- сформовано та досліджено методи та методики побудови служб керування завданнями ВО у грид-інфраструктурах, що формалізуючи підходи до авторизації,

делегації та роботи з грід-завданнями дозволяють вирішити задачі проектування грід-сервісів для автоматизації наукових досліджень ВО;

– уперше запропоновано метод керування завданнями ВО, що шляхом використання асинхронної обробки подій до організації процесу керування грід-завданнями дозволяє здійснювати керування понад 10 тисячами задач одночасно.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Досліджено та розроблено внутрішню структуру та виконано інтеграцію в УНГ провідних українських ВО – MolDynGrid та NetworkDynamics.

2. Запропоновано, розроблено та випробувано метод забезпечення виконання політик доступу до черг локальної системи керування завданнями обчислювального кластеру, який використано для створення ефективної конфігурації виділення ресурсів для ВО на обчислювальних кластерах.

3. Запропоновано, розроблено та впроваджено масштабовану службу засвідчення та керування участю в ВО з забезпеченням високої доступності, що використовується як координуючий сервіс національного рівня для українських ВО.

4. Реалізовано, досліджено та втілено в програмних засобах формалізовані методики побудови служб керування грід-завданнями, що впроваджено в роботу ВО MolDynGrid для дослідження молекулярної динаміки біологічних макромолекул, в роботу ВО NetworkDynamics для дослідження реалістичних моделей взаємодії нейронів головного мозку та динаміки нелінійних систем. Методики можуть бути використані при розробці інших грід-сервісів керування завданнями ВО.

5. Створено прототип системи керування грід-завданнями, що ґрунтується на асинхронній обробці подій, який може бути використаний для побудови систем автоматизації грід-обчислень з одночасним керуванням понад десятьма тисячами завдань.

Методи та засоби інтеграції ВО у грід-інфраструктури за час виконання дисертаційної роботи було впроваджено в ряді проєктів провідних науково-дослідних інститутів НАН України та освітніх установ України, зокрема: Інформаційно-обчислювальний центр Київського національного університету імені Тараса Шевченка (м. Київ), Інститут молекулярної біології та генетики НАН України (м. Київ), Національний науковий центр з медико-біотехнічних проблем при президії НАН України (м. Київ), Інститут теоретичної фізики імені М.М. Боголюбова (м. Київ), Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова (м. Київ), Інститут фізики конденсованих систем (м. Львів), Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України (м. Харків), Державна наукова установа «НТК «Інститут монокристалів» (м. Харків), Інститут проблем математичних та машинних систем (м. Київ), Інститут харчової біотехнології та геноміки (м. Київ), Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова (м. Київ).

Для широкого впровадження створених методів та засобів у різних країнах документація та вихідні коди програмного забезпечення розміщені на загальнодоступних ресурсах обчислювального кластеру Київського національного університету імені Тараса Шевченка, та доступні англійською мовою у домені grid.org.ua.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійно виконаною науковою роботою. Її основні наукові та практичні результати, що дозволили розв'язати поставлені завдання, сформовані та отримані автором особисто. У роботах, які опубліковано у співавторстві, до дисертації включені лише ті результати, що належать здобувачеві: у роботі [3] – сформовано методи забезпечення високої доступності служби засвідчення та керування участю в ВО, описано підходи до авторизації реплік на рівні ВО; у [4] – сформовано та досліджено методи та методики інтеграції ВО на провайдерах ресурсів грид-інфраструктури; у [5] – досліджені методи проектування внутрішньої структури ВО для інтеграції у грид-інфраструктури, сформовано методи розділення доступу до провайдерів ресурсів за параметрами участі в ВО, описані принципи роботи створеного програмного забезпечення для забезпечення виконання політик доступу до черг локального планувальника ресурсів обчислювального кластеру; у [6] – сформовані та досліджені підходи до роботи віртуальних лабораторій у грид, описані принципи роботи створеного програмного забезпечення для керування грид-завданнями ВО MolDynGrid; у [7] – описані підходи кооперації грид-сервісів для інтеграції ВО, висвітлено впровадження служби засвідчення та керування участю в ВО; у [8] – сформовані та описані інтероперабельні методи та методики побудови систем керування грид-завданнями; у [9] – описано принципи роботи створеного програмного забезпечення веб-порталу ВО MolDynGrid, що втілює методи для інтеграції ВО у грид-інфраструктури; у [10] – сформовано методи, методики та архітектуру побудови систем керування завданнями в грид.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень та основні положення, викладені в дисертаційній роботі, доповідались та обговорювались на міжнародних наукових конференціях та наукових семінарах: міжнародна науково-практична конференція «IDAACS'2009: 5th IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems» (Ренде (Косенца), Італія, 2009 р.); перший з'їзд «Медична та біологічна інформатика і кібернетика» з міжнародною участю (Київ, Україна, 2010 р.); міжнародна науково-практична конференція «Nonlinear Dynamics on Networks» (Київ, Україна, 2010 р.); науково-практичний семінар «Високопродуктивні обчислення», HPC DAY 2010: сучасні рішення для високопродуктивних обчислень (Київ, Україна, 2010 р.); міжнародна науково-практична конференція «IDAACS'2011: 6th IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems» (Прага, Чеська Республіка, 2011 р.); міжнародна науково-практична конференція «Nordugrid Workshop» (Київ, Україна, 2011 р.); VIII Міжнародна науково-практична конференція з програмування УкрПРОГ'2012 (Київ, Україна, 2012 р.); міжнародна науково-практична конференція «Nordugrid 2012: ARC for e-Science infrastructures» (Уппсала, Швеція, 2012 р.); V Міжнародна конференція «Распределенные вычисления и грид-технологии в науке и образовании» (Дубна, Росія, 2012 р.); наукові семінари кафедри комп'ютерної інженерії радіофізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Київ, Україна, 2009–2013 рр.); науковий семінар відділу мікропроцесорної техніки (№ 205) Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України (Київ, Україна, 2014 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковано в 10 наукових працях [1–10], та додатково висвітлено у матеріалах конференцій [11–14]. Публікації включають 7 статей у провідних фахових виданнях України [1–7], із них 2 наукові праці написані одноосібно [1, 2].

За результатами роботи отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Комп’ютерна програма «PHP VOMS-Admin» [15].

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, що містять основні результати роботи, списку використаних джерел, що містить 121 найменування та 1 додаток (додаток 1 містить 5 актів впровадження дисертаційної роботи). Повний обсяг дисертації – 166 сторінок, із них 140 сторінок основного тексту. Робота містить 49 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми дисертації, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено зв’язок з науковими програмами та темами, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено інформацію щодо впровадження результатів роботи, відомості про апробацію роботи, а також основні положення, що виносяться до захисту.

У **першому розділі** проведено аналіз стану проблеми інтеграції ВО у сучасних інфраструктурах грид-ресурсів. Для формування методів розглянуто сучасні підходи, технології та протоколи, які дозволяють вирішити поставлену задачу.

Окреслено підходи до інтеграції ВО у роботу ресурсних грид інфраструктур. Визначено поняття ВО як об’єкту застосування політик виділення ресурсів у грид-інфраструктурах. Проведено аналіз впливу внутрішньої структури ВО на процес інтеграції у грид-інфраструктури та інтероперабельної роботи провайдерів ресурсів.

Розглянуто функціональну модель взаємодії сервісів грид-інфраструктури та способи взаємодії ВО з грид-сервісами на кожному функціональному рівні (рис. 1).

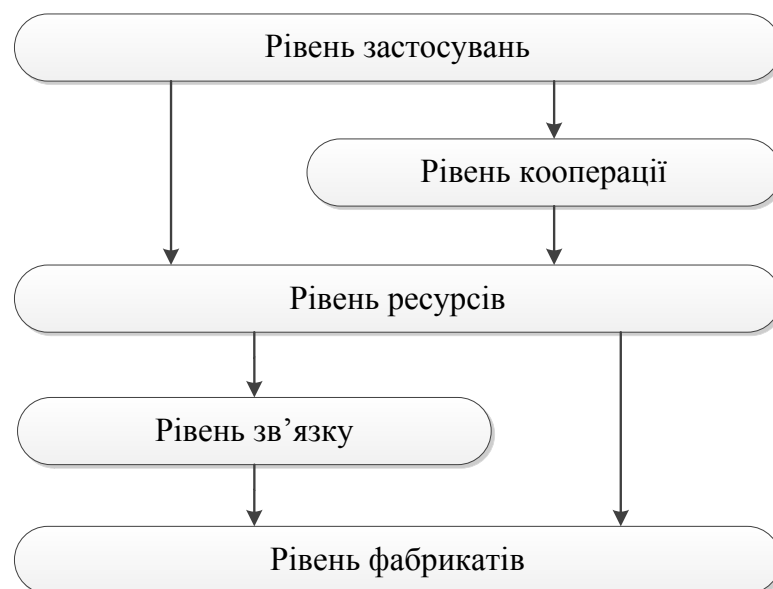


Рис. 1. Багаторівнева функціональна модель грид

Показано важливість використання сервісів рівня кооперації для цілісності процесу інтеграції ВО як таких, що забезпечують єдину точку входу для доступу до множини сервісів рівня ресурсів.

Досліджено існуючі засоби та протоколи, що забезпечують роботу програмного забезпечення проміжного рівня з ВО на рівнях ресурсів та кооперації грид, а також механізми взаємодії власних служб ВО з грид-сервісами.

Окрему увагу приділено процесам ідентифікації та аутентифікації користувачів у розподіленій грид-мережі з використанням протоколів GSI на рівні зв'язку грид, інфраструктури відкритих ключів та персональних сертифікатів учасників. Висвітлено механізми делегації повноважень грид-сервісам за допомогою проксі-сертифікатів, що забезпечують прозорий та інтероперабельний доступ до множини ресурсів. Досліджено проблеми відображення учасників ВО на локальні облікові записи та забезпечення валідності повноважень користувачів при довготривалих розрахунках у різних реалізаціях програмного забезпечення грид.

Проведено аналіз переваг та недоліків різних методів засвідчення участі в ВО для формування гнучких, масштабованих політик доступу до ресурсів грид-інфраструктури. Показано, що для засвідчення участі в ВО необхідним є довірений сервіс, який виконує таку функцію. Класична авторизація, що спирається на списки унікальних імен сертифікатів користувачів, має принципові недоліки для інтеграції ВО такі, як: відсутність масштабованості, гнучкості політик та цілісності, а також неможливість відокремлення роботи різних ВО. Служба засвідчення та керування участю в ВО (VOMS) найкращим чином враховує особливості роботи ВО, проте, наявна програмна реалізація має проблеми стабільності та масштабованості, відсутні реалізації засобів забезпечення високої доступності.

Питання проведення тематичних досліджень з використанням грид-технологій висвітлено в межах концепції віртуальних лабораторій як інтерфейсу між користувачами та ресурсними грид-інфраструктурами. Проведено аналіз існуючих підходів до побудови систем керування грид-завданнями ВО, що забезпечують роботу віртуальних лабораторій. Показано відсутність методик засвідчення участі в ВО та засобів автоматизації створення множини задач в наявних програмних рішеннях.

На основі аналізу запропоновано розробити ряд методів та сформулювати методики, що забезпечують інтероперабельну, відмовостійку та цілісну роботу ВО у грид-інфраструктурах.

У **другому розділі** запропоновано метод інтеграції ВО для проведення наукових досліджень у грид-інфраструктурах. Основа методу – формування необхідних зв'язків між складовими грид-системи та ВО, а саме: провайдерів ресурсів, служби засвідчення та керування участю в ВО та системи керування грид-завданнями.

Провайдер ресурсів отримує списки користувачів ВО та виконує прив'язку до різних локальних облікових записів відповідно до внутрішньої структури ВО. Користувач подає заявку на участь у ВО за допомогою інтерфейсу керування служби VOMS. За допомогою VOMS регулюються параметри участі в ВО такі, як: групи, ролі та атрибути. За допомогою інтерфейсу користувача системи керування

завданнями, користувач створює нові завдання, перевіряє стан виконання та отримує результати запущених завдань. Система керування завданнями використовує інтерфейс служби VOMS для авторизації користувачів відповідно до параметрів участі. Система керування взаємодіє з провайдерами ресурсів для забезпечення виконання грід-завдань.

Інтероперабельність роботи методу забезпечується використанням єдиної інфраструктури авторизації та відповідності користувачів у різних реалізаціях програмного забезпечення грід. Цілісність методу забезпечується єдиною точкою керування участю в ВО та політиками формування внутрішньої структури ВО. В основі високої доступності методу лежить дублювання критичних сервісів рівня кооперації та використання розподілених ресурсів грід-інфраструктури.

Для забезпечення інтероперабельності методу на провайдерах ресурсів грід-інфраструктури вирішено проблеми співставлення параметрів участі в ВО до відповідної черги локального планувальника ресурсів обчислювального кластеру та врахування параметрів участі на етапі авторизації і відображення на локальні облікові записи (рис. 2).

Визначено шляхи індикації параметрів доступу до черг обчислювального елемента для планування виділення ресурсів у випадку пошуку провайдерів за допомогою служб EGIS та Top-BDII при використанні різних схем публікації інформації.

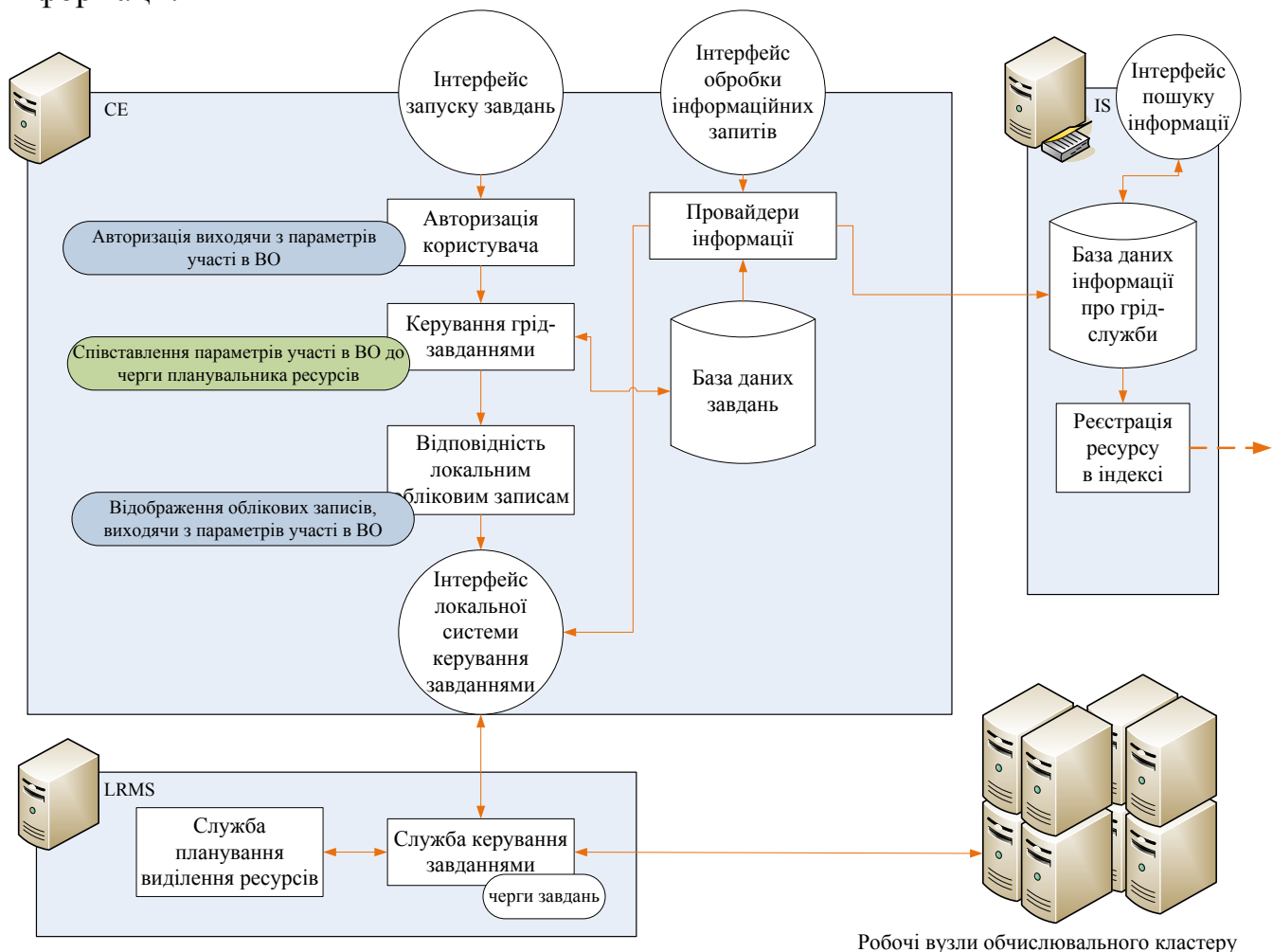


Рис. 2. Організаційна структура обчислювального елемента провайдера ресурсів грід

Обґрунтовано необхідність забезпечення виконання політик доступу до черг обчислювального елемента для інтероперабельного виділення ресурсів ВО. Представлено модифіковану організаційну структуру обчислювального елемента, що враховує параметри участі в ВО при запуску завдань на робочих вузлах обчислювального кластеру (рис. 2).

Запропоновано методи інтероперабельної роботи модулів авторизації та відображення на локальні облікові записи в реалізаціях програмного забезпечення проміжного рівня Nordugrid ARC та gLite. Методи ґрунтуються на використанні бібліотек LCAS та LCMAPS інфраструктури SAC. Показано приклад конфігурації політик доступу за параметрами участі в ВО, що використовуються бібліотеками з використанням модуля присвоєння повноважень для gLite та без присвоєння повноважень для Nordugrid ARC.

На базі запропонованих методів розроблено алгоритм для побудови програмних засобів контролю доступу до черг обчислювального елемента. Відповідно до алгоритму створено застосування з використанням API бібліотек Nordugrid ARC для роботи з VOMS AC-розширеннями проксі-сертифікатів.

Ефективність роботи методів досліджено при впровадженні в роботу провайдерів ресурсів УНГ. В роботі наведено приклад проектування внутрішньої структури ВО MolDynGrid для раціонального проведення досліджень молекулярної динаміки білків та нуклеїнових комплексів. Впровадження сформованих методів інтеграції на провайдерах ресурсів показано на прикладі обчислювального кластеру Інституту молекулярної біології і генетики НАН України, що розміщує сервіси для роботи віртуальної лабораторії MolDynGrid.

Статистику використання ресурсів кластеру до та після впровадження методу показано на рис. 3.

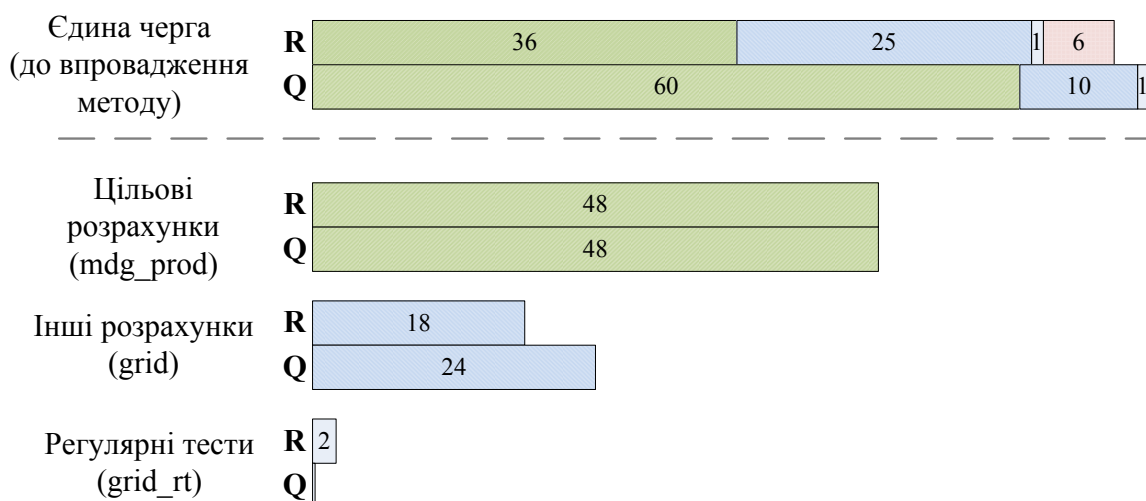


Рис. 3. Завантаження черг обчислювального кластеру ІМБіГ НАНУ

Шкала R відображає задачі, що виконуються, шкала Q – задачі, що очікуються на виконання в черзі. Одиниці виміру – усереднена кількість завантажених

процесорних ядер за місяць. Як видно, після впровадження методу розподіл ресурсів змінився на користь цільових розрахунків.

У **третьому розділі** запропоновано метод побудови масштабованої служби засвідчення та керування участю в ВО з забезпеченням високої доступності для роботи централізованих національних служб.

В роботі показано проблеми та недоліки архітектури та програмної реалізації EDG VOMS для забезпечення масштабованості та високої доступності, а саме, ключовими обмеженнями є: використання близько 800МБ оперативної пам'яті для обслуговування навіть однієї ВО, відсутність стабільних показників часу обробки SOAP-запитів при збільшенні кількості одночасних з'єднань, відсутність засобів реплікації даних ВО.

Запропоновано та розроблено метод побудови служби VOMS, масштабованість якого забезпечується використанням єдиного обробника запитів для всіх ВО, що обслуговуються, та його оптимізацію для ефективної одночасної обробки запитів від провайдерів грид-інфраструктури.

Для високої доступності служби використовується декілька примірників сервісу, вміст бази даних ВО яких синхронізовано за допомогою мульти-майстер реплікації. В роботі запропоновано метод формування журналу транзакцій для операцій керування ВО, які змінюють вміст бази даних. Операції читання, такі як засвідчення участі, не вносяться до журналу і їх атомарність не забезпечується, натомість досягається більша швидкість обробки для збільшення показників масштабованості.

Запропонований метод синхронізації транзакцій використовує модель з активним опитуванням повідомлень (pull-model). Така модель передбачає ініціацію обміну примірником-клієнтом, який запитує інформацію про нові транзакції серверу. Використання активної моделі дозволяє мінімізувати затримки виконання операцій на сервері, і, у випадку виходу з ладу примірника, отримати транзакції за період не активності при відновленні роботи (рис. 4).

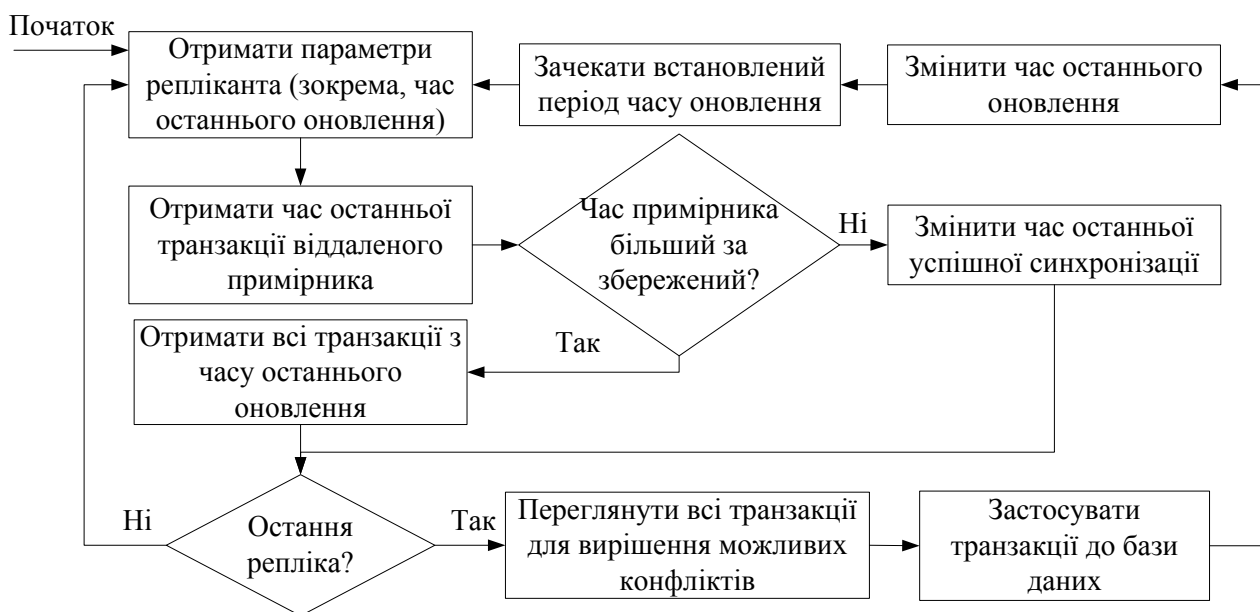


Рис. 4. Схема роботи алгоритму реплікації служби VOMS

Відповідно до методу побудови в роботі сформовано вимоги до характеристик програмних засобів служби керування участю в ВО, зокрема, підтримка сумісної з іншими рішеннями схеми бази даних, відсутність прив'язки до реалізації веб-серверу та сумісні SOAP інтерфейси керування.

Програмна реалізація служби, розроблена з використанням мов програмування PHP та POSIX Shell, дістала назву «PHP VOMS-Admin».

Організаційна структура PHP VOMS-Admin представлена за допомогою моделі проектування програмного забезпечення «Модель-вигляд-контролер» – окремий модуль для виконання операцій з базою даних ВО, окремо виділені елементи, що відповідають за представлення веб-інтерфейсу та передачу параметрів від користувача, та функції обробки запитів (рис. 5). Модулі виконання регулярних завдань викликаються службою cron та забезпечують функціонування реплікації.

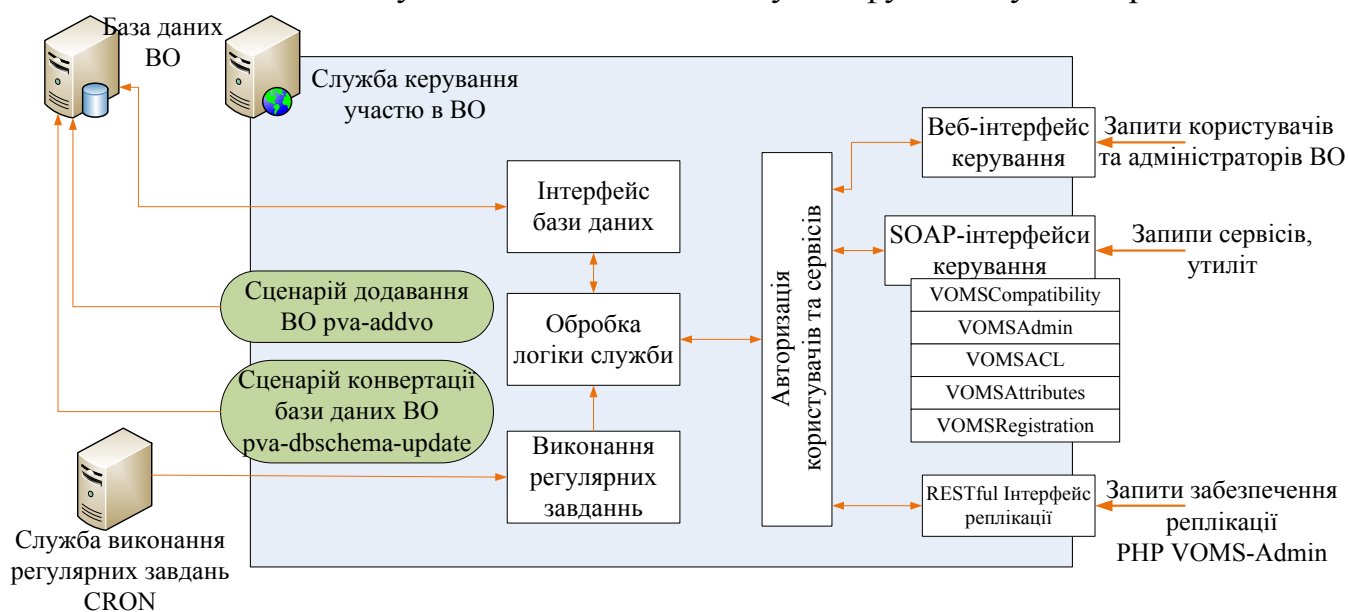


Рис. 5. Організаційна структура PHP VOMS-Admin

Для вирішення проблем авторизації примірників служби на рівні ВО через відкриті канали зв'язку розроблено методики, що враховують модель передачі даних – цілісність та аутентичність забезпечується використанням протоколів TLS, аутентифікація відбувається за спільним ключем та IP адресою примірника. Цілісність бази даних за умов заданої схеми забезпечується рівнем відповідності локальних і унікальних ідентифікаторів, що зберігається в окремому відношенні.

Для узгодження параметрів реплікації використовується спеціалізований інтерфейс обміну даними, що реалізує набір операцій для роботи методу реплікації.

В роботі досліджено показники масштабованості розробленого застосування. Робочий потік веб-серверу Apache, що виконує код служби, використовує 80МБ оперативної пам'яті для всіх ВО. Результати вимірювання часу обробки SOAP-запитів показано на рис. 6.

Розроблену грид-службу керування участю в ВО впроваджено як центральний сервіс УНГ, що стало поштовхом до розвитку тематичних ВО в Україні. Резервні примірники служби впроваджено в центрах ВО та на апаратній платформі IBM Mainframe Z800.

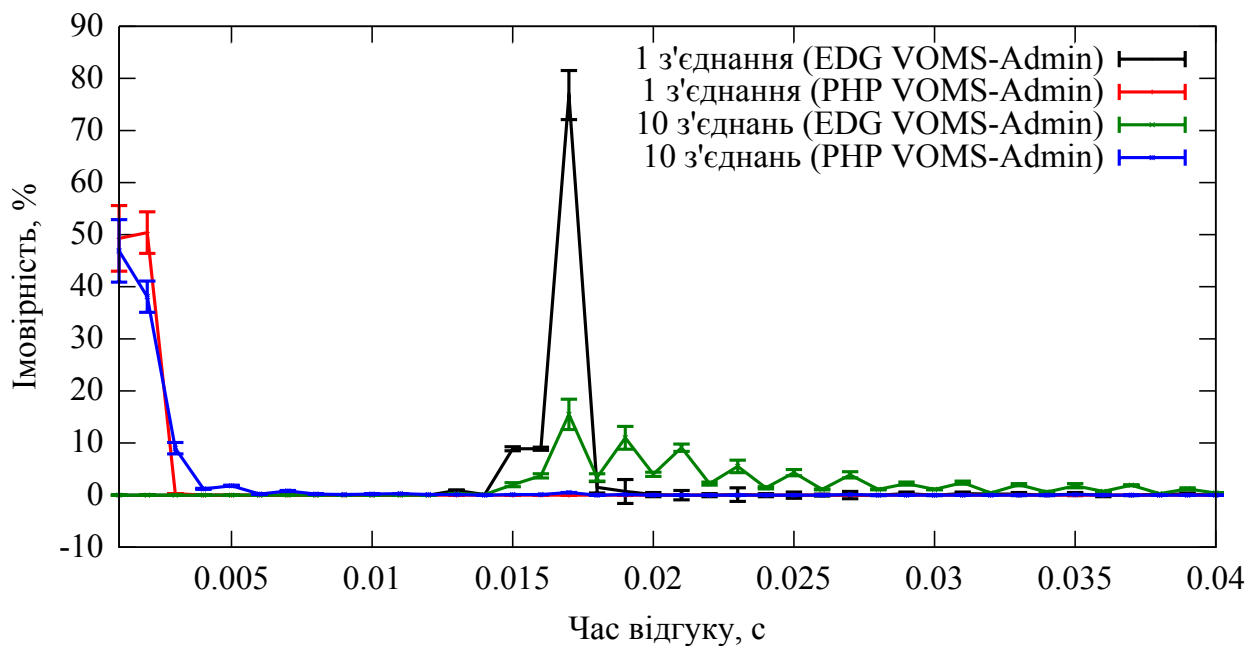


Рис. 6. Розподіл часу відгуку на запити EDG VOMS-Admin та PHP VOMS-Admin

У **четвертому розділі** запропоновано методики побудови служб керування завданнями ВО (рис. 7), що оперують параметрами участі в ВО.

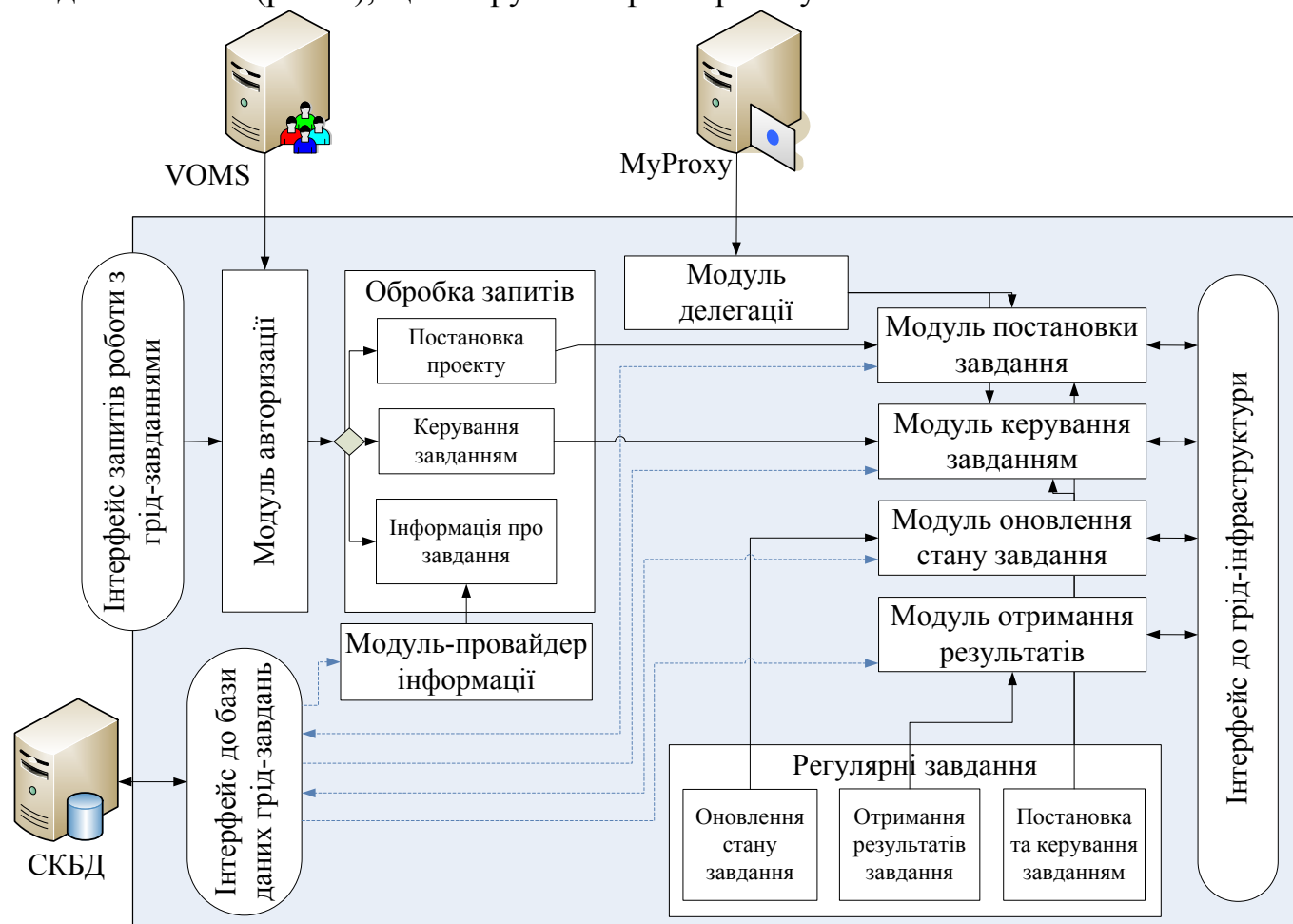


Рис. 7. Організаційна структура системи керування грід-завданнями ВО

Для реалізації відповідних модулів системи в роботі запропоновано: методики авторизації учасників ВО з використанням методів інфраструктури відкритих ключів (за персональним сертифікатом та за проксі-сертифікатом), методики делегації повноважень учасників ВО для взаємодії з грід-службами, що використовують службу MyProxy.

Визначено переваги та недоліки методик синхронного запуску грід-завдань на виконання та запуску грід-завдань як окремого регулярного завдання. Методика синхронної постановки спрощує процес підготовки параметрів завдання і є доцільною у випадку цільових довготривалих розрахунків.

Окреме регулярне завдання є доцільним у полярному випадку розрахунку великої кількості короткочасних завдань, які потребують автоматичної генерації параметрів.

У роботі показано, що при зростанні кількості задач час постановки в грід-середовище лінійно зростає, обмежуючи застосовність методик. Для вирішення проблеми керування 10 тисячами задач одночасно в роботі запропоновано метод керування грід-завданнями, що ґрунтується на асинхронній обробці подій (рис. 8).

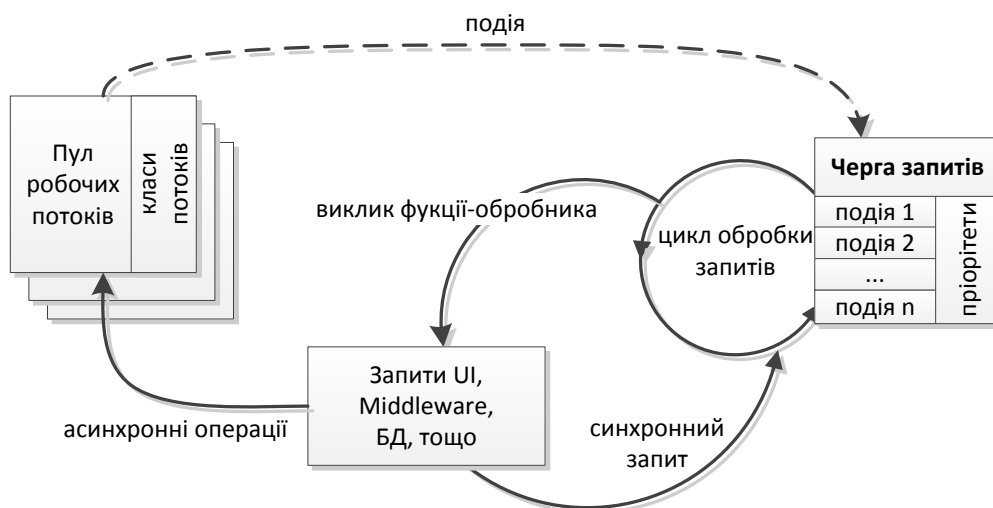


Рис. 8. Синхронна та асинхронна обробка подій з черги

Відповідно до запропонованих у роботі методів та методик створено та впроваджено служби керування завданнями для роботи віртуальної лабораторії ВО MolDynGrid та ВО NetworkDynamics. Служби втілюють методики авторизації та отримання делегації за параметрами участі в ВО, а також методики синхронної постановки завдань ВО та постановки як окреме регулярне завдання відповідно.

Впровадження служб керування дозволило вирішити ряд наукових задач з використанням високопродуктивних обчислень. Як приклад, на рис. 9 показано статистику розрахунку задач ВО MolDynGrid до та після (квітень 2009 р.) впровадження служби керування.

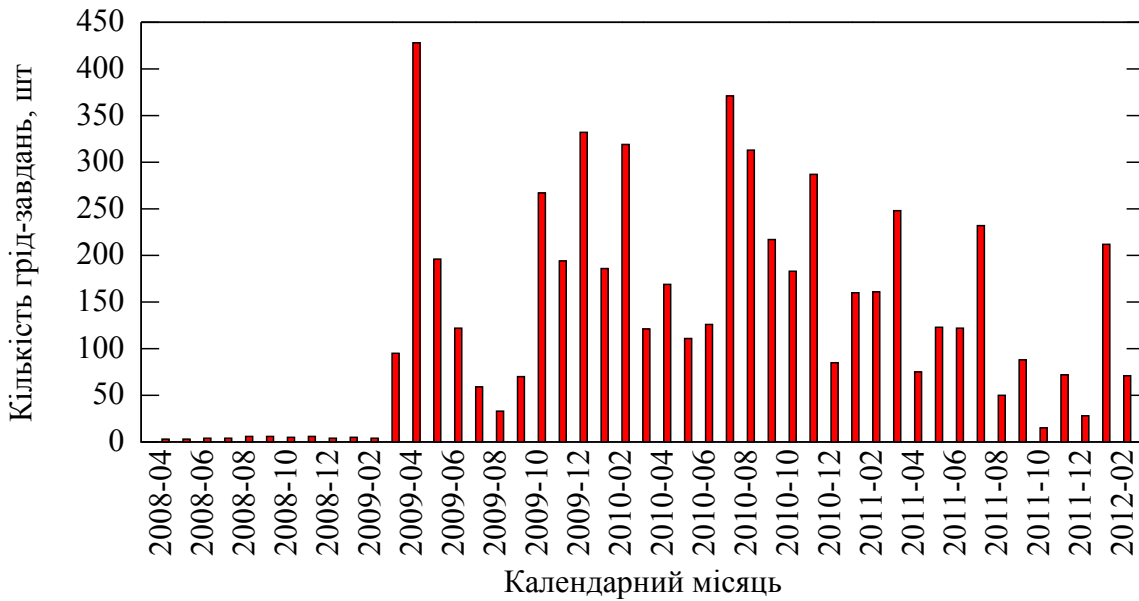


Рис. 9. Статистика розрахунку задач ВО MolDynGrid

Метод керування ґрід-завданнями, що ґрунтується на асинхронній обробці подій втілено в прототипі системи керування ґрід-завданнями, дослідження роботи якого довели його застосовність до керування задачами в ґрід.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дисертаційного дослідження вирішено задачу інтеграції ВО у ґрід-інфраструктури з забезпеченням інтеоперабельності, цілісності та відмовостійкості роботи ВО у ґрід-інфраструктурах, що дозволило науковим спільнотам, представленим у ґрід віртуальними організаціями, проводити наукові дослідження з використанням ґрід-технологій, а саме.

1. Уперше запропоновано метод інтеграції ВО у ґрід-інфраструктури, який завдяки формуванню необхідних зв'язків між сервісами ґрід-інфраструктури та ВО забезпечує інтеоперабельність та цілісність роботи на різних провайдерах ресурсів ґрід, а також відмовостійкість роботи ВО. Метод дозволяє раціонально розподілити ресурси між різними ВО та досягти прозорого використання ґрід-технологій. Проведено аналіз сучасних засобів та протоколів зв'язку, що дозволяють реалізувати метод інтеграції ВО.

2. Уперше сформовано та досліджено метод забезпечення виконання політик доступу до черг локальної системи керування завданнями провайдера ґрід-ресурсів, який ґрунтується на методах ідентифікації інфраструктури відкритих ключів. На відміну від інших підходів, запропонований метод дозволяє досягти цілісності та інтеоперабельності виділення ресурсів для ВО на різних провайдерах ґрід-ресурсів, врахувати вимоги ґрід-завдань та виділити цільові розрахунки як пріоритетні.

3. Уперше запропоновано метод побудови масштабованої служби засвідчення та керування участю в ВО з забезпеченням високої доступності, що шляхом використання єдиного механізму обробки запитів та методів реплікації даних на рівні застосувань ґрід дозволяє розв'язати задачу централізованого обслуговування

ВО на національному рівні та відмовостійкої роботи ВО у грид-інфраструктурах. Визначено та досліджено показники масштабованості служби: час обробки запитів та кількість ВО, що обслуговуються, які доводять обґрунтованість використання методу.

4. Створено та досліджено методи та методики побудови служб керування завданнями ВО у грид-інфраструктурах, що формалізуючи підходи до авторизації, делегації та роботи з грид-завданнями дозволяють вирішити задачі проектування грид-сервісів для автоматизації наукових досліджень ВО. Сформовано переваги та недоліки застосування методик, що висвітлюють доцільність їх використання для побудови систем керування грид-завданнями, залежно від вимог ВО.

5. Уперше запропоновано метод керування завданнями ВО, що ґрунтується на асинхронній обробці подій. Метод дозволяє керувати понад 10 тисячами задач одночасно, що дозволяє максимально використати ресурси грид-інфраструктур.

Відповідно до розроблених теоретичних положень створено та впроваджено в національну грид-інфраструктуру України.

1. Програмні засоби для цілісного та інтероперабельного виділення ресурсів ВО, що дозволили забезпечити роботу провідних українських ВО MolDynGrid та NetworkDynamics.

2. Масштабовану, відмовостійку грид-службу керування участю в ВО (PHP VOMS-Admin) національного рівня, впровадження якої стало поштовхом до розвитку тематичних ВО в Україні, кількість яких на сьогодні рівна 17. Впровадження PHP VOMS-Admin на апаратній платформі IBM Mainframe Z800 в КНУ та резервних примірників служби в ІМБіГ та ННЦ МБТП дозволило створити відмовостійку конфігурацію служби в УНГ.

3. Системи керування завданнями ВО MolDynGrid та ВО networkdynamics, що дозволили виконувати дослідження молекулярної динаміки біологічних макромолекул та реалістичних моделей взаємодії нейронів головного мозку з використанням грид технологій.

4. Прототип системи керування грид-завданнями, що ґрунтується на асинхронній обробці подій, успішна реалізація якого довела застосовність запропонованого методу до керування грид-завданнями ВО у грид-інфраструктурах.

Методи та засоби інтеграції ВО, що представлені в роботі, разом з прикладними науковими проектами, що виконуються в рамках Державної цільової науково-технічної програми “Впровадження і застосування грид-технологій на 2009–2013 роки” сформували в Україні національну грид-інфраструктуру, що наразі на високому рівні представлена в Європі.

Запропоновані в роботі методи є універсальними та інтероперабельними, застосовуються і можуть бути застосовані для інтеграції ВО та побудови національних та міжнародних грид-інфраструктур разом з реалізованими в роботі програмними засобами.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНО В НАСТУПНИХ ПРАЦЯХ:

1. Сальников А.А. Масштабируемая грид-служба управления участием в виртуальных организациях / А.А. Сальников // УСиМ. – Киев: Академперіодика, 2012. – № 4 (240). – С. 51–62.
2. Сальников А.О. Система керування грид-завданнями віртуальної лабораторії, що ґрунтується на асинхронній обробці подій / А.О. Сальников // Проблеми програмування. – К.: 2012. – № 2-3. – С. 102–110.
3. Сальников А.О. Методики та засоби реплікації грид-служби засвідчення та керування участю в віртуальних організаціях / А.О. Сальников, Ю.В. Бойко // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет повітряних сил ім. Івана Кожедуба, 2012. – Т. 2 (100). – С. 211–215.
4. Сальников А.О. Вирішення проблем інтеграції віртуальних організацій на провайдерах ресурсів в українському національному ГРІД-сегменті / А.О. Сальников, Ю.В. Бойко // Вісник НТУУ «КПІ» Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – К.: 2011. – № 54. – С. 186–192.
5. Сальников А. Методики відображення внутрішньої структури віртуальних організацій в грид-інфраструктурах / А. Сальников, О. Корнелюк, Ю. Бойко // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – Тернопіль, 2012. – Т. 19, № 2. – С. 180–190.
6. MolDynGrid virtual laboratory as a part of scientific infrastructure for biomolecular simulations / A.O. Salnikov, I.A. Sliusar, O.O. Sudakov [et al.] // International Journal of “Computing”. – Ternopil’, 2010. – Vol. 9, N. 4. – P. 295–301.
7. Сальников А.О. Впровадження сервісів рівня кооперації грид-ресурсів для інтеграції віртуальних організацій в українській національній грид-інфраструктурі / А.О. Сальников, Ю.В. Бойко // Моделювання та інформаційні технології: Зб. наук. пр. – К.: 2012. – № 63. – С. 67–75.
8. Інтегроване середовище віртуальної лабораторії MolDynGrid для розрахунків молекулярної динаміки біополімерів / А.О. Сальников, О.О. Судаков, О.В. Савицький [та ін.] // Медична інформатика та інженерія. – К.: 2010. – Т. 3, № 1. – С. 16–22.
9. Сальников А.О. Інтегроване середовище автоматизації роботи з великими об’ємами даних в грид / А.О. Сальников, О.О. Судаков, О.І. Корнелюк // Медична інформатика та інженерія. – К.: 2009. – Т. 2, № 3. – С. 22–30.
10. Архітектура веб-орієнтованої системи віртуальних лабораторій в Грид-інфраструктурі / А.О. Сальников, Є.А. Слюсар, М.І. Анісімов [та ін.] // Інформаційні технології в освіті: Зб. наук. пр. – Херсон: Видавництво ХДУ, 2009. – № 4. – С. 31–39.
11. MolDynGrid virtual laboratory as a part of Ukrainian Academic Grid infrastructure / A.O. Salnikov, I.A. Sliusar, O.O. Sudakov [et al.] // Proceedings of the 5th IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 2009. (IDAACS '09). – Rende (Cosenza), Italy, 2009. – 21–23 September. – P. 237–240.

12. Salnikov A.O. Integrated grid environment for massive distributed computing in neuroscience / A.O. Salnikov, R.I. Levchenko, O.O. Sudakov // Proceedings of the IEEE 6th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, 2011. (IDAACS '11) / IEEE. – Vol. 1. – Prague, Czech Republic, 2011. – October. – P. 198 – 202.
13. Сальніков А.О. Методики інтеграції віртуальної лабораторії MolDynGrid в ГРІД-інфраструктуру НАН України / А.О. Сальніков, Ю.В. Бойко // Перший всеукраїнський з'їзд «Медична та біологічна інформатика і кібернетика»: Збірник праць. – К., Україна, 2010. – 23–26 червня. – С. 154.
14. Application of the ukrainian grid infrastructure in joint projects of Kyiv National Taras Shevchenko University / O.O. Sudakov, A.O. Salnikov, I.A. Sliusar [et al.] // The 5th International Conference “Distributed Computing and Grid-technologies in Science and Education” (GRID '12). – Dubna, Russia, 2012. – July 16 –21. – P. 148.
15. А.с. № 52167 Україна. Комп'ютерна програма “PHP VOMS-Admin” / А.О. Сальніков, Ю.В. Бойко // заяв. № 52491 від 19.09.2013; зареєстр. 14.11.2013.

АНОТАЦІЯ

Сальніков А.О. Методи та засоби інтеграції віртуальних організацій в грід-інфраструктури. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ, 2014.

В дисертації запропоновано метод інтеграції віртуальних організацій (ВО) у грід-інфраструктури для інтероперабельної роботи на сучасних провайдерах грід-ресурсів з забезпеченням цілісності та високої доступності та визначено шляхи його практичної реалізації.

Запропоновано, розроблено та впроваджено метод відображення внутрішньої структури ВО на локальну систему керування завданнями обчислювального кластеру для застосування інтероперабельних політик виділення ресурсів.

Розроблено метод побудови масштабованої служби засвідчення та керування участю в ВО з забезпеченням високої доступності, за допомогою якого реалізовано та впроваджено координуючий сервіс керування українськими ВО національного рівня.

Сформовано та досліджено методи та формалізовані методики побудови служб керування завданнями ВО у грід-інфраструктурах, визначено множину сервісних функцій, що розв'язують задачі автоматизації наукових досліджень ВО у грід. Для керування 10 тисячами завдань одночасно запропоновано метод керування грід-завданнями, що ґрунтується на асинхронній обробці подій. Методи використано для реалізації систем керування грід-завданнями провідних ВО, робота яких інтегрована в Український національний грід.

Ключові слова: грід, віртуальна організація, провайдер ресурсів, служба засвідчення та керування участю в ВО, система керування грід-завданнями.

АННОТАЦИЯ

Сальников А.А. Методы и средства интеграции виртуальных организаций в грид-инфраструктуры. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Институт кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины, Киев, 2014.

В диссертации предложен метод интеграции виртуальных организаций (ВО) в грид-инфраструктуры для интероперабельной работы на современных провайдерах грид-ресурсов с обеспечением целостности и отказоустойчивости. Определены пути практической реализации метода.

Предложен, разработан и внедрен метод отображения внутренней структуры ВО на локальную систему управления заданиями вычислительного кластера для применения интероперабельных политик выделения ресурсов.

Разработан метод построения масштабируемой службы управления членством в ВО с обеспечением отказоустойчивости, при помощи которого реализован и внедрен координирующий сервис управления украинскими ВО национального уровня.

Сформулированы и исследованы методы и формализованные методики построения служб управления заданиями ВО в грид-инфраструктурах, а также определена совокупность сервисных функций, решающих задачи автоматизации научных исследований ВО в грид. Для управления 10 тысячами задач одновременно разработан метод управления заданиями, базирующийся на асинхронной обработке событий. Методы применены при реализации систем управления грид-задачами ведущих ВО, работа которых интегрирована в Украинский национальный грид.

Ключевые слова: грид, виртуальная организация, провайдер ресурсов, служба управления членством в ВО, система управления грид-задачами.

ABSTRACT

Salnikov A.O. Methods and tools for virtual organizations integration into the grid-infrastructures. – Manuscript copyright.

Ph.D. thesis for the candidate's degree in engineering sciences in speciality 05.13.05 – computer systems and components. – Glushkov Institute of Cybernetic of NAS of Ukraine, Kyiv 2014.

Virtual organizations (VOs) integration into the grid infrastructures method for interoperable operation of the modern grid resource providers including operations integrity and high availability has been proposed in Ph.D. thesis. Method interoperability has been achieved due to common authorization and mapping framework employment and unified policy enforcement methods assured against different middleware implementations. Method integrity has been achieved with a single policy definition point which is Virtual Organization Membership Service (VOMS). High availability guaranteed by VOMS redundant instances with a multi-master replication established and distributed

architecture of grid resource providers. The ways of proposed methods implementation has been shown.

Methods for implementing mapping between VO internal structure and local resource management system queues that allows enforcement of interoperable policies has been proposed, developed and deployed. Methods solve an access parameters indication and VO-based policy enforcement problems for Nordugrid ARC and gLite middlewares. Common authorization and grid accounts mapping during deployment rely on Site Access Control framework's LCAS/LCMAPS libraries usage.

Application of proposed practical methods and developed tools allows to efficiently allocate resources that minimize the idleness of computing elements. Proposed methods and tools usage to prioritize production computations of VO MolDynGrid on the Institute of Molecular Biology and Genetics high performance computing cluster has been shown as example.

Scalable VOMS building method with high availability has been developed. SOAP-requests processing time and RAM requirements has been analyzed as a numeric scalability metrics. Scalability limits of existing VOMS architecture and necessity of scalable VOMS-Admin development has been shown.

Developed VOMS building methods introduce architecture with a single common process for serving all VOs. High availability of the proposed solution achieved by multi-master VO database replication method on application layer – there are no need to access database backend or CLI on VOMS server directly, VOMS-Admin interface usage is enough for establishing replication.

Multi-master replication in the developed VOMS architecture provides backward compatibility with existing solutions and keep core database schema unchanged. Replication instances authorization involves TLS methods. Data replication integrity methods are based on ID to UUID mapping layer in the VOMS functions. Concept of replication establishment relies on initial parameters agreement using the RESTful RPC interface.

PHP VOMS-Admin service that implements the proposed methods has been developed and deployed on national level for all Ukrainian VOs. PHP VOMS-Admin replica servers are deployed on the own VO resources for several VOs and IBM Mainframe Z800 hardware in Kyiv National Taras Shevchenko University.

Practical methods for VO job management systems development has been formulated and investigated. Methods have handled VO membership parameters and include: user authentication and authorization methods, access right delegation method and job submission methods.

Advantages and disadvantages of synchronous job submission in the client session and job submission as a separate regular task methods has been analyzed. For handling 10K jobs method of event-driven asynchronous grid jobs control has been introduced.

Job management system for VO MolDynGrid that involves TLS-based authentication, automatic delegation retrieval and synchronous submission methods has been implemented and deployed, allowing performing structural biology and bioinformatics in-silico molecular dynamics computations in Ukraine National Grid (UNG).

Job management system for VO NetworkDynamics that involves TLS-based authentication, automatic delegation retrieval and job submission as a separate regular task has been developed and deployed, allowing nonlinear dynamics and realistic neuron networks modeling computations in UNG.

All methods proposed in the Ph.D. thesis are cross-functional and interoperable, already used and can be used for VOs integration and for national and international grid-infrastructures building.

Key words: grid, virtual organization, resources provider, virtual organization membership service, grid-jobs management service.