**УДК 624.01**

***Я. О. Слободян, д.т.н., проф.;***
***О. В. Мельничук, НУ "Києво-Могилянська академія";***
***М. І. Ільїн, НУ "Києво-Могилянська академія", Фізико-технічний інститут НТУУ "КПІ"***

# ВИСОКОПРОДУКТИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЗАДАЧАХ АНАЛІЗУ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

АНОТАЦІЯ

В роботі розглянуто високопродуктивні інформаційні технології для задач аналізу напружено-деформованого стану на етапах життєвого циклу будівель та споруд. Традиційну реалізацію для систем з розподіленою пам'яттю в ПК ЛІРА Cluster порівняно з експериментальними додатками ЛІРА Grid та ЛІРА Grid GPGPU. Виділено рекомендації щодо застосування запропонованих технологій в навчальному процесі.

Ключові слова: паралельні обчислення, кластер, грід, МСЕ, модель.

## Предмет дослідження та постановка задачі

Підвищення адекватності комп'ютерного аналізу життєвого циклу будівель та споруд, як правило, супроводжується експоненційним ростом вартості досліджень. Тому розроблення та застосування нових високопродуктивних технологій паралельних (кластерних, суперкомп'ютерних) та розподілених (грід) обчислень у контексті підвищення адекватності з одночасним зниженням вартості аналізу характеристик будівельних споруд предсталяє актуальну наукову проблему.

## Підхід до організації досліджень

Найбільш перспективним напрямком досліджень є гібридні моделі, що поєднують відносно дешеві результати комп'ютерного моделювання та високу точність завдяки здатності асимілювати широкий спектр спостережуваних характеристик елементів конструкцій. Унікальною властивістю моделей даного класу є можливість дослідження реакції будівель на аномальні явища природного та техногенного походження, натурні експерименти для яких неможливі з економічних або технічних причин. Серед прикладів таких явищ слід відзначити сейсмічні процеси на території України.

З математичної точки сучасні гібридні моделі використовують дискретизовані за методом скінченних елементів (МСЕ) представлення будівельного об'єкта та зводяться до систем лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) великої розмірності. Так, у роботі [1] наведено типовий приклад моделі висотної будівлі, що містить 10^6 скінченних елементів та зводиться до СЛАР порядку 5*10^6. Задача обчислювально складна, ефективність її розв'язання визначає доцільність проведення аналізу з використанням даних моделей.

У роботі представлено результати досліджень ефективності застосування високопродуктивних технологій паралельних та розподілених обчислень (ПРО) для аналізу напружено-деформованого стану споруд. Запропоновано підхід до інтеграції даних моделювання екстремальних станів навколишнього середовища на прикладі сейсмічних процесів на території України. При програмній реалізації досліджуваних технологій використано ПК ЛІРА Cluster [2], Грід та експериментальні розширення ПК ЛІРА Grid для відеокарт (технології general-purpose computation on graphics processing units, GPGPU).

## Опис реалізації

В якості еталонного рішення приймемо паралельну реалізацію ПК ЛІРА Cluster [2]. Для розв'язання СЛАР використовується паралельний метод виключення Гауса, алгоритм для систем з розподіленою пам'яттю, реалізація на базі MPI. Комерційна версія комплексу поставляється в комплекті з кластерами сімейства INPARCOM [2], що зумовлює високу сумарну вартість рішення.

Для наукових, некомерційних та академічних застосувань розроблено версію ПК ЛІРА Grid, що використовує ресурси Українського національного гріду (УНГ). Використання ресурсів УНГ дозволяє знизити вартість моделювання завдяки відсутності необхідності підтримки власної кластерної інсталяції. Паралельна реалізація виключення Гауса така як у кластерній версії [2].

Для академічних застосувань запропоновано реалізацію солвера на базі графічних процесорів архітектури CUDA (Compute Unified Device Architecture, яку представлено графічними прис-

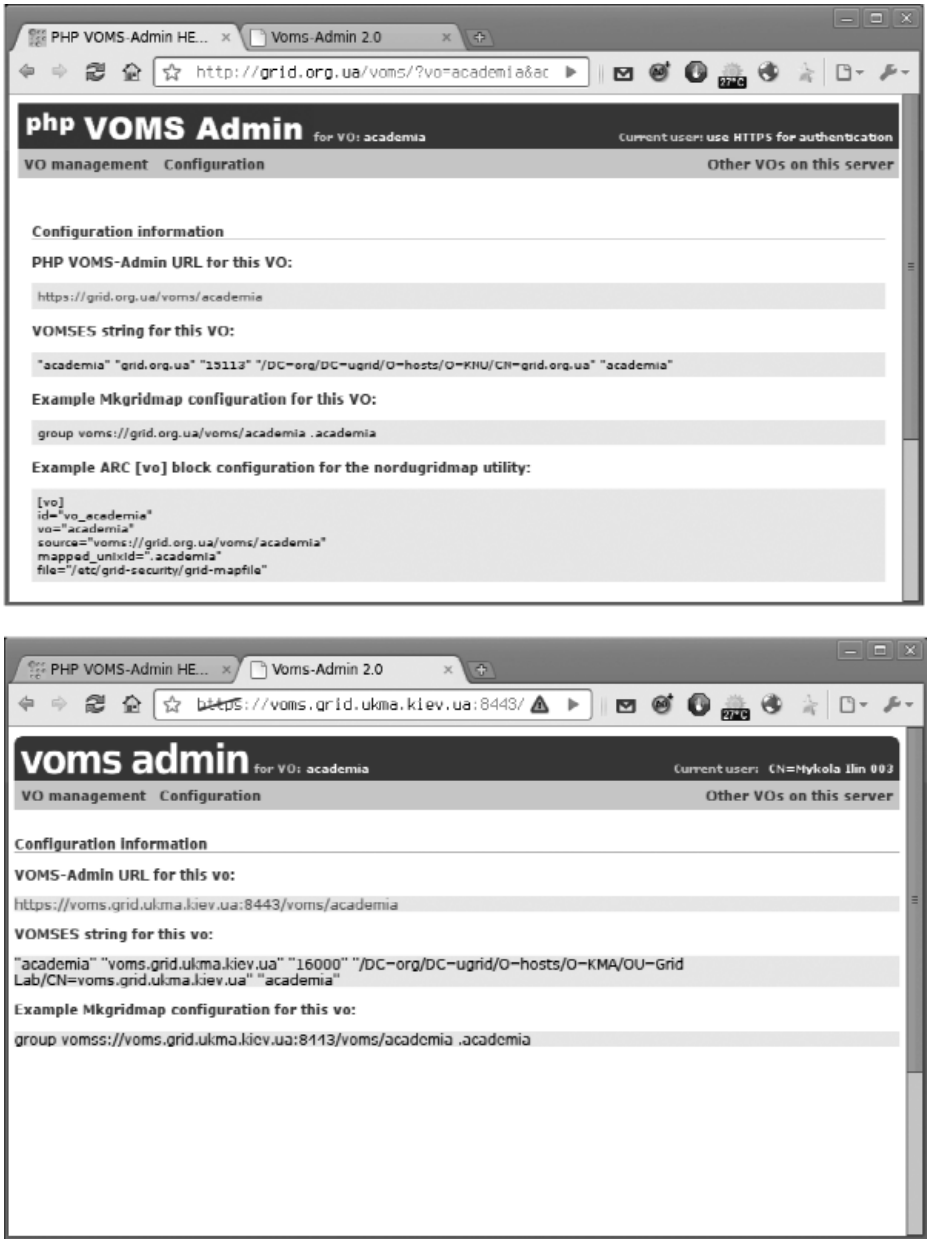


***Рис. 1.*** *Дослідницькі ресурси, що підтримують запропоновані в роботі технології*

корювачами Nvidia Geforce восьмого покоління та вище). Для розв'язання СЛАР використовується ітераційний метод – стабілізований алгоритм біспряжених градієнтів (BiCGSTAB), реалізація якого підтримується Nvidia в бібліотеці математичних підпрограм для задач лінійної алгебри з розрідженими матрицями CUSP [3]. Попередні експериментальні оцінки для відеокарти середнього класу Nvidia GeForce 9600M GT демонструють час виконання, в 17 разів менший за вузол кластеру НТУУ "КПІ" 2xIntel Xeon 5160 3.00 ГГц.

Враховуючи низьку вартість GPGPU рішень та наявність в УНГ промислових ресурсів на графічних процесорах [4], можна стверджувати про високу комерційну привабливість даної розробки.

Велика кількість розроблених версій ПК ЛІРА та традиційна орієнтованість комплексу на зручність для кінцевого користувача зумовлює необхідність уніфікації інтерфейсу реалізацій. В якості основи пропонується використати абстракцію обчислювальної грід інфраструктури. Уніфікований інтерфейс на базі ARC 0.8 в ПК ЛІРА Grid [1] є прикладом реалізації запропонованого підходу.

## Масштабованість запропонованих рішень та супутні зауваження

Переваги переходу від традиційних кластерних до грід технологій проілюструємо прикладом

інтеграції даних оцінок поля резонансних частот на території будівельної конструкції за результатами сейсмічного аналізу. Провідною організацією, яка надає дані необхідної часової та просторової точності, є Інститут геофізики НАНУ. Інтеграція різнорідних форматів накопичених даних всеукраїнської мережі станцій сейсмічного моніторингу на базі власних ресурсів ІГ НАНУ та публікація результатів для використання в дослідженнях на базі УНГ робить можливим попередній аналіз сейсмічної стійкості будівель без затримок внаслідок людського фактора замовлення підготовки вибору історичних сейсмічних даних.

Розробка та використання високопродуктивних технологій на практиці вимагає високої кваліфікації спеціалістів-користувачів. Досвід показує, що інтеграція реальних науково-дослідних робіт з грід технологій та аналізу міцності будівель у базові навчальні курси вишів дозволяє отримати досить високу якість підготовки профільних спеціалістів із застосувань високопродуктивних технологій навіть в гуманітарних університетах, таких як Національний університет "Києво-Могилянська академія". Так, запропоновані в даній роботі технології розроблені та підтримуються на базі навчальних грід ресурсів НаУКМА, віртуальна організація (ВО) УНГ Academia (рис. 1). На момент підготовки публікації ВО об'єднує ресурси провідних кластерів України — НТУУ "КПІ", ІК НАНУ, ДНВП "Електронмаш", НаУКМА тощо. Реєстрація та використання запропонованих в даній роботі технологій є безкоштовними для некомерційних, наукових та академічних застосувань.

## Висновки

Для задач аналізу життєвого циклу будівель та споруд оцінено ефективність застосування технологій високопродуктивних обчислень. Порівнювались переваги традиційних кластерних, грід та обчислень на графічних процесорах (GPGPU) для розв'язання розріджених СЛАР, що виникають в результаті застосувань методу скінченних елементів для дослідження стану будівель та споруд. Розглянуто реалізацію досліджуваних технологій в ПК ЛІРА та рекомендації щодо можливостей застосувань у навчальному процесі вишів.

Подальші напрямки досліджень пов'язані з адаптацією GPGPU реалізації для використання в дослідженнях статичних та динамічних навантажень на будівлі та споруди та автоматизації інтеграції сейсмічних даних в додаток ЛІРА Grid.

*ЛІТЕРАТУРА*

*1. Слободян Я.О. Эффективность грид технологий в расчетах высотных сооружений / Я.О. Слободян, Н.И. Ильин, А.В. Мельничук, В.П. Максименко // Проблемы программирования. 2-3, 2010. — С.567-572*

*2. Химич А.Н. Численное программное обеспечение интеллектуального MIMD-компьютера Инпарком / Химич А.Н., Городецкий А.С., Слободян Я.Е. и др. — К.: Наукова думка, 2007. — 216 с.*

*3. Bell N. CUSP: Generic parallel algorithms for sparse matrix and graph computations / N. Bell, M. Garland. — http://code.google.com/p/cusp-library/. — 2009.*

*4. Велес А.О. GPU-кластер ГАО НАНУ. Характеристики, результати роботи, перспективи / А.О. Велес // Робоча нарада "Український академічний грід-09". — 8-9 жовтня 2009.*

АННОТАЦИЯ

В работе рассматриваются высокопроизводительные информационные технологии для задач анализа напряженно-деформированного состояния на этапах жизненного цикла зданий и сооружений. Традиционная реализация для систем с распределенной памятью в ПК ЛИРА Cluster сравнивается с экспериментальными реализациями ЛИРА Grid и ЛИРА Grid GPGPU. Даны рекомендации по применению предложенных технологий в учебном процессе.

Ключевые слова: параллельные вычисления, кластер, грид, МКЭ, модель.

ANNOTATION

In this paper we describe high-performance computing implementation of methods for buildings strength analysis and lifecycle modeling. Traditional distributed memory implementation of production-grade software PC LIRA Cluster has been compared with experimental LIRA Grid and LIRA Grid GPGPU versions. Considerations for modern high performance computing education in buildings analysis are given.

Keywords: parallel computing, cluster, grid, FEM, mobel.