

Голові разової спеціалізованої вченої ради  
Національного технічного університету  
«Дніпровська політехніка»  
д.т.н., професору Михайлу АЛЕКСЄЄВУ

### ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

доктора технічних наук, професора Коряшкіної Лариси Сергіївни  
на дисертаційну роботу  
Стародубського Ігоря Петровича  
«Методи та засоби переносимості програм та програмних систем на різні  
обчислювальні платформи»,  
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
в галузі знань 12 «Інформаційні технології»  
за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

**Актуальність роботи.** З ускладненням програмних систем та зростанням різноманіття апаратних архітектур проблема переносимості програм на різні обчислювальні платформи набуває ключового характеру і стає актуальною науково-прикладною задачею. Використання спеціалізованих обчислювальних прискорювачів, вбудованих і периферійних пристроїв з обмеженими обчислювальними ресурсами зумовлює відповідні вимоги до універсальності програмних рішень. Особливого значення проблема набуває в умовах хмарних, мультихмарних і розподілених середовищ, де виникають проблеми масштабованості програми та програмних систем, ефективного використання ресурсів, стійкості до змін навантаження та високого рівня автоматизації процесів управління. У таких умовах класичні підходи до забезпечення переносимості, зокрема, засновані на стандартизованих мовах програмування, крос-компіляції, контейнеризації, виявляються недостатніми через їх статичний характер та обмежену здатність адаптуватися до динамічних змін середовища. Відтак, розробка адаптивних методів переносимості, здатних враховувати характеристики платформи й умови виконання, є важливим напрямом сучасної програмної інженерії, що підтверджує актуальність дисертації Стародубського Ігоря Петровича.

**Наукові результати та їх новизна.** Отримані в роботі наукові результати розв'язують актуальну науково-прикладну задачу забезпечення, підвищення та автоматизації переносимості програм і програмних систем на різні обчислювальні платформи шляхом розробки методу адаптивної контейнеризації з інтеграцією штучного інтелекту та інформаційної технології прогнозування потреб програм у ресурсах з інтеграцією штучного інтелекту.

Наукова новизна отриманих результатів: вперше

1) розроблено метод адаптивної контейнеризації з інтеграцією штучного інтелекту, який, на відміну від існуючих підходів, базується на реалізації

замкненого керуючого циклу, поєднує збір експлуатаційних метрик, аналіз стану системи, прогнозування відхилення переносимості та автоматизоване прийняття рішень щодо адаптації параметрів контейнерів, що дозволяє здійснювати інтелектуальну адаптацію параметрів контейнерів у реальному часі без необхідності ручного втручання;

2) розроблено архітектуру інтелектуального управління контейнеризованими програмами у гетерогенних обчислювальних середовищах, яка передбачає взаємодію модулів аналізу середовища, систем моніторингу, алгоритмів штучного інтелекту та засобів оркестрації контейнерів, що дозволяє оптимізувати використання обчислювальних ресурсів у багатоплатформних середовищах;

3) розроблено інформаційну технологію прогнозування потреб програм у ресурсах обчислювальної платформи на основі аналізу історичних даних та поточних метрик продуктивності із застосуванням машинного навчання, що дозволяє реалізувати проактивне управління контейнеризованими середовищами виконання та зменшити ймовірність деградації продуктивності або перевантаження системи.

У роботі вдосконалено:

– інформаційні технології забезпечення переносимості та автоматизації розгортання, масштабування й супроводу програмних систем у мультиплатформних і мультимарних середовищах, а також метод управління контейнеризованими програмами у середовищах з обмеженими ресурсами;

– метод управління контейнеризованими програмами у вбудованих та периферійних обчислювальних системах шляхом використання адаптивних алгоритмів оптимізації, що дозволяють забезпечити стабільну роботу програм за умов обмеженої обчислювальної потужності.

Набули подальшого розвитку методи забезпечення переносимості програм та програмних систем у гетерогенних обчислювальних середовищах та підходи до використання штучного інтелекту для оптимізації продуктивності, стабільності та масштабованості програмних систем у динамічних середовищах.

### **Практичне значення та практична цінність отриманих результатів.**

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості їх безпосереднього використання при проектуванні, розгортанні та супроводі багатоплатформного програмного забезпечення в гетерогенних обчислювальних середовищах. Запропоновані методи та засоби дозволяють автоматизувати налаштування середовищ виконання, зменшити залежність від ручної конфігурації та підвищити стабільність і масштабованість програмних систем за змінних умов експлуатації. Програмний прототип методу реалізовано як керовану контейнеризовану систему, інтегровану з Kubernetes control plane та системою моніторингу Prometheus, що підтверджує технічну

опрацьованість запропонованого підходу. Дисертаційну роботу виконано відповідно до наукового напрямку кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» «Високопродуктивні багатопроцесорні системи: особливості конструювання, дослідження оцінок ефективності, застосування до розв'язування прикладних задач» (Е-340, державний реєстраційний номер 0121U113718, 2025 р.). Результати впроваджено у діяльність ТОВ НВП «Агропромавтоматизація», іноземного підприємства «SoftRequest LTD», Державного науково-виробничого підприємства «Ельдорадо», ТОВ «Біологічні активні добавки», а також у навчальний процес Національного технічного університету «Дніпровська політехніка». Наявні акти впровадження.

### **Оцінка змісту, ступеню завершеності та обґрунтованості положень дисертації.**

У вступі здобувачем визначено актуальність теми, сформульовано мету дослідження та задачі, розв'язання яких забезпечує реалізацію мети роботи, подано наукову новизну та практичне значення результатів. Наявна інформація про публікації та апробацію результатів досліджень.

В першому розділі автором виконано системний аналіз теоретичних основ переносимості програм та програмних систем, розглянуто критерії оцінювання й рівні абстракції, наведено порівняльну характеристику стандартів, обчислювальних платформ та базових методів забезпечення переносимості. Обґрунтовано обмеженість традиційних статичних підходів у динамічних гетерогенних середовищах і доцільність розробки адаптивних методів.

В другому розділі запропоновано метод адаптивної контейнеризації з інтеграцією штучного інтелекту. Програмну систему формалізовано як керований динамічний об'єкт, сформульовано задачу його адаптації до зміни умов середовища. Описано модульну архітектуру методу та замкнений керуючий цикл із застосуванням алгоритмів машинного навчання для оцінювання стану й прогнозування наслідків керуючих дій.

В третьому розділі подано практичну реалізацію та експериментальну перевірку методу. Розроблено програмний прототип, інтегрований з Kubernetes control plane і системою моніторингу Prometheus, сформовано гетерогенне експериментальне середовище, проведено порівняння запропонованого методу з базовим режимом керування. Результати досліджень свідчать про зменшення середнього і максимального відхилення переносимості та скорочення частки часу порушення умови переносимості.

Четвертий розділ присвячено розробці методу адаптивної компіляції на основі генетичного алгоритму. Задачу вибору параметрів трансляції коду

формалізовано як багатокритеріальну дискретну оптимізацію. Обґрунтовано синергетичний ефект комплексного застосування методів адаптації на рівнях компіляції та виконання; ефективність підтверджено експериментально на різних апаратних платформах.

Отже, в роботі переносимість розглянуто як властивість керованого динамічного об'єкта, яка формується у процесі взаємодії програмної системи, обчислювальної платформи та механізмів управління ресурсами. Такий підхід відрізняється від традиційних, заснованих на використанні стандартизованих мов, крос-компіляції, віртуалізації та статичної контейнеризації, ефективність яких в умовах динамічної зміни середовища є обмеженою.

**Повнота викладення результатів дисертації в наукових виданнях.** За результатами досліджень опубліковано 17 наукових праць, з яких 6 статей – у наукових виданнях, включених до переліку фахових видань України, 1 з них – категорії «А» та індексується у НМБД Web of Science; 11 наукових праць опубліковано у збірниках наукових праць та матеріалах міжнародних конференцій. Основні положення дисертації повністю викладено в опублікованих працях. Вимоги щодо кількості та якості публікацій виконано.

Повний обсяг роботи складає 215 сторінок, з яких 174 сторінки – основний текст. Список використаних джерел містить 115 найменувань. Робота включає 10 додатків, проілюстрована 17 рисунками та містить 9 таблиць.

**Оформлення дисертації та дотримання вимог академічної доброчесності.** Дисертація написана науково правильною мовою на високому технічному рівні з використанням сучасної термінології.

Тема, зміст та отримані наукові результати роботи відповідають спеціальності 122 Комп'ютерні науки в галузі знань 12 Інформаційні технології.

Аналіз наукових праць, опублікованих автором, та змісту дисертаційної роботи дозволяє стверджувати, що усі наукові та практичні результати отримані здобувачем особисто. В дисертаційній роботі не виявлено текстових запозичень та використання результатів науковців без посилань на відповідні джерела. Відсутність порушень академічної доброчесності підтверджує наявний звіт про результати перевірки на академічний плагіат дисертації Стародубського Ігоря Петровича.

#### **Зауваження до дисертації:**

1. Математична формалізація еволюції програмної системи у вигляді (2.1), (2.2) містить неточність, адже профіль цільової обчислювальної платформи  $P$ , який є складовою частиною вектору стану системи, такий, що,

як зазначено на стор. 56, «Компоненти вектору є статичними (platform-level metadata)». Відтак, вектор  $P$  потрібно вилучити з вектору стану системи. Якщо ж деякі компоненти вектора  $P$  можуть змінюватися з часом (зокрема, обсяг доступної оперативної пам'яті), то в правих частинах (2.2) – (2.10) та усіх інших формулах,  $P$  є зайвим.

2. Алгоритм прийняття рішень (стор. 78), який представлений «з метою уточнення алгоритмічної сутності методу керування адаптивною контейнеризацією», бажано було б викласти з нумерацією етапів останнього. Ускладнює сприйняття викладеного матеріалу, по-перше, відмінність перших етапів (в алгоритму методу (стор. 76) – це генерація та фільтрація простору кандидатів, на виході – допустимі керуючі дії; в уточненому варіанті – це «збір метрик виконання контейнеризованої програмної системи у межах ковзного часового вікна  $W$ , в результаті чого формується поточна вектор-функція метрик  $m(t)$ »); по-друге – різне число етапів.

3. Використано одні й ті самі позначення для різних параметрів, зокрема,  $w(t)$  – вектор-функція зовнішніх збурень, зумовлених змінами навантаження;  $w_i$  – вагові коефіцієнти в формулі (2.6);  $W$  – ковзне часове вікно.

4. Наведені в роботі експериментальні дослідження достатньо підтверджують ефективність запропонованого підходу, однак варто було б додатково підсилити емпіричну базу шляхом розширення набору тестових сценаріїв і конфігурацій обчислювальних платформ.

5. Вживання англійської термінології дещо знижує читабельність тексту; наявні некоректні висловлення, зокрема, «абсолютні» цілі числа (стор. 57); трапляються поодинокі неточності та елементи, що мають редакційний характер (назва пункту 2.5.3 – окремо від самого тексту, підпис рисунку 2.4 – на окремій сторінці та ін.).

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, її наукову новизну та практичну значущість.

**Висновок про відповідність дисертації вимогам, які пред'являються до наукового ступеня доктора філософії.** Дисертація Стародубського Ігоря Петровича «Методи та засоби переносимості програм та програмних систем на різні обчислювальні платформи» є завершеною науково-дослідницькою роботою, яка містить нові науково обґрунтовані результати. У дисертаційній роботі було вирішено актуальну науково-прикладну задачу підвищення переносимості та рівня автоматизації програм і програмних систем на різні обчислювальні платформи.

Тема і зміст роботи відповідають спеціальності 122 Комп'ютерні науки, а наукові та практичні результати, отримані в дисертаційній роботі є значущими для галузі знань Інформаційні технології.

Вважаю, що дисертація Стародубського Ігоря Петровича відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 та вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», а її автор, Стародубський Ігор Петрович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Офіційний рецензент –  
доктор технічних наук, доцент,  
професор кафедри системного аналізу  
та управління Національного технічного  
університету «Дніпровська політехніка»

Лариса КОРЯШКІНА