

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

ГРІДЕЛЬ РОСТИСЛАВ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 004.942: 004.272.26

МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АНАЛІЗУ  
РОЗПОДІЛЕНИХ ПРОГРАМНИХ МОДЕЛЕЙ GRID-СИСТЕМ

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2015

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент

**Волк Максим Олександрович,**  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки, доцент кафедри електронних  
обчислювальних машин

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор  
**Гамаюн Ігор Петрович,**  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,  
декан факультету інформатики та управління;

доктор технічних наук, професор,  
**Рязанцев Олександр Іванович,**  
Східноукраїнський національного університету  
ім. Володимира Даля (м. Сєверодонецьк),  
завідувач кафедри комп'ютерної інженерії.

Захист відбудеться «29» грудня 2015 р. о 15:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.08 Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Автореферат розісланий «28» листопада 2015 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Плісс І.П.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сьогодні багато наукових досліджень пов'язано з моделюванням систем великого розміру. Для реалізації таких завдань використовують новітні інформаційні технології, до яких належать GRID-технології та технології хмарних обчислень, ефективні методи організації яких знаходяться у стані розвитку. Застосування розподіленого імітаційного моделювання останнім часом дозволило значно розширити клас реалізованих імітаційних моделей за рахунок використання великої кількості потужних обчислювальних ресурсів, до яких можна віднести локальні та глобальні комп'ютерні мережі, суперкомп'ютери, кластери. У цьому процесі використовується значна кількість розподілених обчислювальних ресурсів, що мають велику вартість. Тому існує необхідність у наукових дослідженнях з широкого кола питань, пов'язаних з теорією організації самого процесу розподіленого імітаційного моделювання, обумовлена мінімізацією затрат на проведення даного процесу, яка може бути досягнута шляхом зменшення часу моделювання та кількості обчислювальних ресурсів.

За час свого існування системи імітаційного моделювання пройшли шлях від однокористувальних програм і середовищ, що дозволяють створювати як найпростіші послідовні моделі, так і великі розподілені імітаційні симулятори, що об'єднують різноманітні віддалені моделі, створені різними розробниками, якими можуть виступати як окремі інженери і вчені, так і цілі колективи та фірми. Наслідком цього стало створення міжнародних стандартів та створення розподілених імітаційних моделей, таких як HLA (High Level Architecture). Значну роль у формуванні та розвитку теорії імітаційного моделювання відіграють роботи вітчизняних і зарубіжних авторів Р. Шеннона, І.В. Максимея, М.М. Мойсеєва, М.П. Бусленко, В.М. Глушкова, А. Прицкера та ін.

Розподілені імітаційні моделі найчастіше будуються на основі існуючих послідовних методів моделювання, а задача вибору сукупності ресурсів для проведення імітаційного експерименту частіше вирішується декларативно на основі інформації про обчислювальну складність розподіленої моделі та продуктивність існуючих обчислювальних ресурсів. При цьому такі важливі характеристики як трафік, оперативна пам'ять розподілених моделей, потоки локальних задач виділених ресурсів, якщо і враховуються, то тільки як обмежувальні параметри в ході вибору ресурсів, що не впливає на ефективність розподілу завдань у розподіленому обчислювальному середовищі.

Висока вартість експлуатації розподілених обчислювальних систем і об'єднуючих їх комунікаційних мереж вимагає ефективного прогнозування поведінки розподіленої імітаційної моделі. До факторів, що впливають на вартість проведення імітації, належать як параметри обчислювального середовища, так і характеристики самої імітаційної моделі. Останнє обумовлює актуальність завдання аналізу розподілених імітаційних моделей.

Аналіз ефективності процесу розподіленого імітаційного середовища, що проводиться до імітаційного експерименту (а іноді й до створення моделі), вимагає наявності формального подання розподіленої імітаційної моделі і

можливості проведення з ним певних операцій, що показують зміну основних характеристик моделей у часі. Серед сучасних робіт, спрямованих на створення такого формального апарату, можна віднести роботи В.В. Окольнішнікова, Т.В. Вознесенської, В.О. Горбачова. Специфіка подання розподілених імітаційних моделей у вигляді паралельно виконуваних процесів визначає часте використання в питаннях аналізу процесної алгебри, розробленої Ч. Хоаром і Р. Міллером.

Слід зазначити, що в існуючих моделях не враховуються такі важливі характеристики, як динамічна зміна обсягів пам'яті розподілених моделей та обсяги даних, якими обмінюються моделі в процесі імітації. Аналіз цих характеристик дозволить більш ефективно оцінювати якість розподілених моделей, досліджувати їх поведінку під впливом різних факторів обчислювального середовища та розробляти ефективні методи розподілу обчислювальних ресурсів у процесі розподіленого моделювання.

Таким чином, розробка моделей, методів і технологій для аналізу процесів у розподілених імітаційних системах моделювання є актуальним напрямком дисертаційного дослідження.

#### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконувалася відповідно до плану науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки в рамках тем: «Розробка структур Харківського ресурсно-операційного GRID-центру та його ресурсів», договір № 9 між ХНУРЕ і «ІПСА» НТУУ «КПІ», що виконувалась на підставі Договору «ІПСА» НТУУ «КПІ» з Міністерством освіти і науки України №ІТ/506-2007, Державної програми «Інформаційні та телекомунікаційні технології в освіті і науці» на 2006-2010 рр. №ДР0107U010616; та «Розробка і дослідження застосування GRID-порталу Харківського ресурсно-операційного GRID-центру», договір № 08-22 / 9 між ХНУРЕ і ІПСА НТУУ «КПІ», що виконувалась на підставі Договору «ІПСА» НТУУ «КПІ» з Міністерством освіти і науки України № ІТ/506-2013, Державної програми «Інформаційні та телекомунікаційні технології в освіті і науці» на 2006-2013 рр. № ДР0108U008261. В рамках зазначених тем здобувачем проведено розподілене імітаційне моделювання різних конфігурацій і системних налаштувань Харківського ресурсно-операційного GRID-центру та його ресурсів, а також аналіз конфігурацій в ході використання GRID-порталу на різних додатках.

**Мета та задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розвиток технологій імітаційного моделювання в розподілених обчислювальних системах, розробка моделей, методів та інформаційної технології аналізу розподілених програмних моделей, що дозволить зменшити час моделювання та необхідну для моделювання кількість обчислювальних ресурсів.

Згідно зі сформульованою метою в дисертаційній роботі необхідно вирішити такі завдання:

- розробка моделі предметної області, що відображує динамічну зміну основних параметрів програмних елементів системи моделювання;
- розробка модифікацій моделі для випадків синхронних, консервативних,

оптимістичних методів синхронізації розподілених імітаційних систем моделювання;

- розробка методів аналізу процесів розподіленого імітаційного моделювання на основі створених моделей для методів розподілу обчислювальних ресурсів;

- розробка інформаційної технології, алгоритмів і програмного забезпечення аналізу процесів розподіленого імітаційного моделювання на основі створених моделей.

*Об'єктом дослідження* є процес розподіленого імітаційного програмного моделювання GRID-систем великої розмірності.

*Предметом дослідження* є моделі, методи та інформаційна технологія дослідження процесів розподіленого програмного моделювання з різними методами синхронізації окремих програмних моделей.

*Методи дослідження.* Для проведення досліджень предметних областей використана теорія імітаційного моделювання, теорія множин, загальна теорія систем, теорія імітаційного моделювання. Для відображення динаміки поведінки окремих моделей використаний формальний апарат процесної алгебри. В основу подання розподілених програмних моделей покладений стандарт HLA (High Level Architecture).

**Наукова новизна отриманих результатів.** Основні результати, які визначають наукову новизну дисертаційної роботи:

*а) вперше*

- запропоновано імітаційну модель процесу розподіленого дискретно-подієвого моделювання, яка, на відміну від існуючих, враховує динамічну зміну обсягів пам'яті, потоків даних у локальних моделях, час простою, методи синхронізації модельного часу та архітектуру локальних моделей стандарту HLA, що дозволяє задовольнити встановлені обмеження на обсяг оперативної пам'яті та мінімізувати час простою обчислювальних ресурсів для різних умов синхронізації програмних моделей;

- запропоновано методи оцінювання та вибору схеми розподілу локальних програмних моделей за обчислювальними ресурсами на основі запропонованої імітаційної моделі процесу розподіленого дискретно-подієвого моделювання, що дозволяє зменшити час виконання та кількість обчислювальних ресурсів в ході реалізації оптимістичних і консервативних методів синхронізації програмних моделей;

*б) удосконалено*

- модель оцінки часу виконання програмних моделей, що, на відміну від існуючих, враховує можливість зміни обсягу пам'яті програмних моделей та обсягів даних, які передаються між програмними моделями, а також час простою ресурсів, що дозволяє оцінити час виконання програмних моделей для різних схем розподілу ресурсів з урахуванням обмежень на обсяг пам'яті та сумарний час простою обчислювальних ресурсів;

*в) набули подальшого розвитку*

- методи розподілу програмних моделей за обчислювальними ресурсами у розподіленому імітаційному моделюванні GRID-систем, які, на відміну від

існуючих, дозволяють здійснювати розподіл ресурсів з максимальним просуванням модельного часу за обмежень на обсяг оперативної пам'яті, часу простою та обрати найбільш прийнятний спосіб синхронізації програмних моделей, що сприятиме підвищенню ефективності процесу розподіленого імітаційного моделювання шляхом зменшення часу моделювання та кількості обчислювальних ресурсів.

**Практичне значення отриманих результатів.** Практичну значимість отриманих теоретичних результатів дисертаційної роботи підтверджено поліпшенням якості аналізу розподілених імітаційних моделей, що працюють під управлінням різних методів синхронізації та створенням ефективних методів розподілу ресурсів на базі нової інформації про моделі. Зокрема, практичне вирішення теоретичних досліджень полягає у наступному:

- збільшено кількість параметрів, отримуваних під час аналізу розподілених імітаційних моделей, що дає можливість поліпшення методів розподілу ресурсів, алгоритмів керування завданнями на моделювання в розподілених інформаційних системах;

- розроблені та реалізовані алгоритми та процедури аналізу розподілених імітаційних моделей;

- розроблено процедуру порівняння ефективності розподілених імітаційних моделей за максимальним просуванням модельного часу;

- розроблено процедуру оцінки можливості розподілу окремих моделей на основі динамічної зміни обсягів віртуальної пам'яті;

- розроблено процедуру отримання оцінок простою ресурсів для алгоритмів синхронізації розподілених імітаційних моделей;

- удосконалено технологію розподіленого імітаційного моделювання GRID-систем.

Результати роботи були використані для моделювання інформаційних систем, що розроблялись в ТОВ «Альвіс» (акт від 16.05.2013). Запропоновані методи, що базуються на консервативних та оптимістичних алгоритмах дозволили підвищити ефективність процесу моделювання інформаційних систем. Запропоновані методи аналізу програмних моделей дозволили скоротити час моделювання інформаційних систем в ТОВ «ВЄНТА» (акт від 10.05.2013).

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові результати, що виносяться на захист, отримані автором особисто. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: у роботі [1] – на підставі аналітичних моделей запропоновано узагальнену модель процесів дискретно-подієвої розподіленої імітації; у роботі [2] – автор виявив основні недоліки та зауваження до використання сучасних методів розподілення ресурсів, поставив завдання створення нових методів вибору схем розподілу ресурсів; у роботі [3] – автор запропонував нові функціональні модулі системи імітаційного моделювання GRID та механізм їх включення до існуючого програмного забезпечення, що реалізують розроблені методи розподілу програмних моделей по обчислювальним ресурсам; у роботі [4] – виявлені потоки даних у системах імітаційного моделювання, які використовуються у процесі аналізу

програмних моделей та методах оцінювання і вибору схем їх розподілу по обчислювальним ресурсам; у роботі [5] – запропонована аналітична модель, що на відміну від існуючих, враховує час простою при виконанні розподілених імітаційних моделей з консервативними алгоритмами синхронізації; у роботі [6] – запропонована аналітична модель, що на відміну від існуючих, враховує динамічну зміну обсягів пам'яті та потоків даних в локальних моделях при виконанні розподілених імітаційних моделей з оптимістичними алгоритмами синхронізації; у роботі [7] – формалізована множина об'єктів, що відображають процеси розподіленої імітації; у роботі [8] – запропонована технологія синхронізації розподілених моделей з використанням технології попереднього аналізу моделей; у роботі [9] – запропоновані нові архітектурні та функціональні рішення щодо включення у систему розподіленого імітаційного моделювання GRID-модулів для аналізу програмних моделей; у роботі [10] – вплив методів і технологій синхронізації розподілених моделей на функціонування системи моделювання та методи аналізу моделей; у роботі [11] – розроблено алгоритм інтеграції спільних модулів у систему моделювання; у роботі [12] – запропоновані нові архітектурні та функціональні рішення щодо включення у систему розподіленого імітаційного моделювання GRASS модулів для аналізу програмних моделей; у роботі [13] – запропоновано новий метод аналізу розподілених імітаційних моделей з розширеною множиною параметрів; у роботі [14] – розроблено формальний апарат для відображення процесів розподіленої імітації з використанням процесної алгебри; у роботі [15] – аналіз впливу потоків завдань та даних в системах розподіленого моделювання на ефективність їх функціонування; у роботі [16] – аналіз впливу мережного трафіку в системах розподіленого моделювання на ефективність їх функціонування; у роботі [17] – запропоновані удосконалені аналітичні моделі для аналізу розподілених імітаційних моделей з різними методами синхронізації; у роботі [18] – запропоновано поняття менеджера пам'яті та наведені його функції; у роботі [19] – проведено аналіз впливу технологій синхронізації моделей на технології їх аналізу у режимі реального часу та з використанням апріорної інформації; у роботі [20] запропонована інформаційна технологія аналізу розподілених програмних моделей; у роботі [21] приведено етапи технології аналізу розподілених програмних моделей.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на таких конференціях і форумах:

- XIII, XIV Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті» (Харків, 2009, 2010 рр.);

- XI, XII Міжнародні науково-технічні конференції «Системний аналіз та інформаційні технології» (Київ, 2009, 2010 рр.);

- IX Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми інформатики і моделювання» (Харків, 2009 р.);

- I, II Міжнародні науково-технічні конференції «Інформаційні технології в навігації і управлінні: стан та перспективи розвитку» (Київ, 2010, 2011 рр.);

- I, II Міжнародні науково-технічні конференції «Сучасні напрямки розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління»

(Дніпропетровськ, Харків, Київ, 2010, 2011 рр.);

- III Міжнародна науково-практична конференція «Інформатика, математичне моделювання, економіка» (Смоленськ, 2013);

- 26-я Міжнародна науково-практична конференція «Впровадження перспективних мікропроцесорних систем залізничної автоматики та засобів телекомунікації на базі цифровізації» (Алушта, 2013);

- I, II Міжнародні науково-технічні конференції «Проблеми інформатизації» (Дніпропетровськ, Київ, Харків, Полтава, Париж, Белгород, Тольятті, 2013, 2014 рр.).

**Публікації.** За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 21 наукову працю. З них 7 статей у фахових виданнях України, з технічних наук (1 видання входить до міжнародних наукометричних баз РИНЦ та WorldCat), 1 стаття в іноземному науковому збірнику за підсумками міжнародної науково-практичної конференції та 13 тез доповідей конференцій.

**Структура дисертації.** Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 167 найменувань на 19 сторінках та 4 додатків на 8 сторінках, а також містить 25 рисунків та 1 таблицю (рисунки та таблиця, що займають окрему площу на 4 стор.). Загальний обсяг роботи складає 169 сторінок, включаючи 138 сторінок основного тексту.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми дисертації, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, визначені наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, а також особистий внесок автора в роботи, виконані у співавторстві, наведено відомості про апробацію результатів дисертації та кількість публікацій за темою дисертаційної роботи.

У першому розділі на базі вивчення літературних джерел проведено аналіз предметної області. Розглянуто питання розвитку технологій імітаційного моделювання, а особливо розподіленого імітаційного моделювання складних систем великого розміру. Зазначено, що для ефективного використання обчислювальних ресурсів необхідні ефективні методи розподілення програмних моделей на вказані ресурси. Існуючі методи розподілення ресурсів мають ряд недоліків, пов'язаних з обмеженістю даних про програми, що виконуються паралельно. Наведено достатньо повний огляд публікацій методів аналізу розподілених імітаційних моделей з різними методами синхронізації модельного часу.

За результатами проведеного аналізу зроблено висновок про необхідність створення нових і вдосконалення існуючих технологій імітаційного моделювання інформаційних систем великої розмірності з урахуванням особливостей, що з'явилися у глобальних обчислювальних системах (GRID, хмарні системи та ін.). У зв'язку з цим сформульована мета дисертаційної роботи: розвиток технологій імітаційного моделювання в розподілених обчислювальних системах, розробка моделей, методів та інформаційної



технології аналізу розподілених програмних моделей, що дозволить підвищити ефективність розподілу ресурсів у процесі розподіленого імітаційного моделювання.

У другому розділі за допомогою математичного апарату процесної алгебри введено формальне подання розподіленої імітаційної моделі у вигляді такого алфавіту активностей:

$$Act = \Phi \cup \Lambda \cup \Delta, (\varphi)_{f=1}^F \subseteq \Phi, (\lambda)_{l=1}^L \subseteq \Lambda, (\delta)_{d=1}^D \subseteq \Delta, \quad (1)$$

де  $Act$  – алфавіт активностей;

$\Phi$  – множина внутрішніх активностей моделі;

$\Lambda$  – множина активностей управління даними моделі;

$\Delta$  – множина активностей взаємодії моделей;

$F, L, D$  – визначають кількість активностей у відповідній групі.

Для встановлення еквівалентності нових та існуючих моделей введено відносини:

$$\{AP, M_T\} \subseteq \Phi, \{DM\} \subseteq \Lambda, \{H\} \subseteq \Delta, \quad (2)$$

де  $AP$  – підпрограма, що реалізує поведінку моделі;

$H$  – підпрограма зв'язку з іншими моделями;

$M_T$  – процедура управління часом моделі;

$DM$  – область даних моделі.

На підставі введеного алфавіту, введеного поняття менеджера пам'яті програмної моделі та існуючого стандарту HLA визначені активності розподілених імітаційних моделей для оптимістичних  $A_{onm}^{data}$  (3) та консервативних  $A_{конс}^{data}$  (4) методів синхронізації:

$$\begin{cases} RTI : \{A^{ner}(T_k)\} \\ A_{onm}^{data} = \{A^{save}(T_k), A^{load}(T_k), A^{tag}(T_e), A^{rav}\}, \\ M : \{A^{tag}(T_e) + \emptyset, A^{rav} + \emptyset\} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} RTI : \{A^{fqr}, A^{retr}\} \\ A_{конс}^{data} = \{A^{save}(T_k), A^{load}(T_k), A^{rav}, A^{TSO}, A^{fqs}\}, \\ M : \{A^{rav} + \emptyset, A^{fqs} + \emptyset\} \end{cases} \quad (4)$$

де  $RTI$  (Run Time Infrastructure) – множина активностей середовища моделювання;

$save, load, ner, fqr, retr, fqs, tag, rav$  – ідентифікують активності, що підтримують збереження  $A^{save}$ , завантаження  $A^{load}$ , запита наступного стану  $A^{ner}$ , завершення виконання активностей в даний момент  $A^{fqr}$ , антиповідомлення ( $A^{fqs}$ ), черги повідомлень ( $A^{TSO}$ ), управління модельним часом ( $A^{tag}$ ) та атрибутами моделі відповідно ( $A^{rav}$ ). Поведінка активностей залежить від локального модельного часу ( $T_k$ ) та часу наступної події ( $T_e$ ).

Обґрунтована можливість побудови на основі введених активностей для оптимістичних та консервативних алгоритмів синхронізації розподілених імітаційних моделей на основі стандарту HLA, розглянуто особливості реалізації федеративів на основі функцій менеджера пам'яті. Показано, що під час використання менеджера пам'яті для управління станом у просторі модельного часу можлива автоматична реалізація федеративів стандарту HLA і федеративів розподіленої системи моделювання РТІ, що підтримують консервативні та оптимістичні алгоритми синхронізації.

Отримані результати відкривають можливості уніфікації програмних імітаційних моделей, що ведуть до спрощення та прискорення процесу їх побудови на основі простого інтерфейсу, а також створює передумови до створення ефективних методів аналізу процесів розподіленої імітації.

У **третьому** розділі запропонована узагальнена імітаційна процесу дискретно-подієвого розподіленого моделювання. Під час просування модельного часу  $t_i^n$   $n$ -ої моделі на  $i$ -му кроці моделювання відбувається збереження стану моделі, що призводить до зростання пам'яті даних програмної окремої моделі  $V_i^n$ . На операції з пам'яттю витрачається процесорний час, який складається з часу збереження стану моделі  $t_i^s$ , часу передачі повідомлення від окремої моделі  $n$  до окремої моделі  $k$  ( $t_i^m$ ). Час  $t_i^m$  у загальному випадку є функцією, залежною від поведінки активності передачі даних  $\delta_i^{nk}$  і розміру переданих даних ( $buff_i^{nk}$ ). В свою чергу час, витрачений на виконання всієї імітаційної моделі на  $i$ -му кроці моделювання  $\Delta TR_i$  визначається як максимум серед суми часів виконання поведінкової активності  $\varphi_i^n$  і часу виконання операцій з даними  $TR_i^n$ . Узагальнена модель:

$$\left\{ \begin{array}{l} TR_0 = 0; TR_0^n = 0; \Delta TR_i^n = \begin{cases} t_i^s, \text{если } t_i^n = T_i \\ 0, \text{если } t_i^n \neq T_i \end{cases} + \sum_{k=1}^N a^{nk} \cdot t_i^m(\delta_i^{nk}, \text{sizeof}(buff_i^{nk})); \\ TR_{i+1}^n = TR_i^n + \Delta TR_i^n; TR_{i+1} = TR_i + \max_{n=1, N}(\text{time}(\varphi_i^n) + \Delta TR_i^n) + TR_i^M; \\ t_0^n = 0; t_{i+1}^n = \begin{cases} t_i^n + \xi_i^n, \text{если } t_i^n = T_i \\ t_i^n, \text{если } t_i^n \neq T_i \end{cases}; \\ V_0 = \sum_{n=1}^N V_0^n; V_0^n = \text{sizeof}(A^n \cup \Delta^n); \Delta V_i^n = \begin{cases} V_i^{ns}, \text{если } t_i^n = T_i \\ 0, \text{если } t_i^n \neq T_i \end{cases}; \\ V_{i+1}^n = V_i^n + \Delta V_i^n; V_{i+1} = V_i + \sum_{n=1}^N \Delta V_i^n; \\ T_0 = 0; T_{i+1} = \min_{n=1, N}(t_{i+1}^n); n = \overline{1, N}, \end{array} \right. \quad (5)$$

де  $TR_i$  – реальний час, що витрачений на виконання кроків процесу моделювання всієї імітаційної моделі;

$TR_i^n$  – реальний час, витрачений  $n$ -ою окремою моделлю на  $i$ -му кроці моделювання на роботу з даними;

$t_i^s$  – час збереження стану моделі на  $i$ -му кроці моделювання;

$t_i^m$  – час передачі даних;

$time(\varphi_i^n)$  – час виконання поведінкової активності  $\varphi_i^n$ ;

$a^{nk}$  – ймовірність посилання повідомлення від окремої моделі  $n$  до окремої моделі  $k$ ;

$N$  – кількість приватних моделей;

$TR_i^M$  – час роботи служб системи моделювання на  $i$ -му кроці моделювання;

$t_i^n$  – локальний модельний час  $n$ -ої окремої моделі на  $i$ -му кроці моделювання;

$T_i$  – глобальний модельний час на  $i$ -му кроці моделювання;

$\xi_i^n$  – значення часу, що характеризує внутрішню роботу процесів між двома сусідніми кроками моделювання;

$V_i^n$  – обсяг пам'яті, займаний даними  $n$ -ою окремою моделлю на  $i$ -му кроці моделювання;

$V_i^{ns}$  – обсяг дампа пам'яті для  $n$ -ої окремої моделі на  $i$ -му кроці моделювання;

$\Delta V_i^n$  – прирощення об'єму пам'яті  $n$ -ої приватної моделі на  $i$ -му кроці моделювання;

$V_i$  – обсяг пам'яті, займаної всією розподіленою імітаційною моделлю на  $i$ -му кроці моделювання;

$TR_0, TR_0^n, t_0^n, V_0^n, V_0$  – початкові значення відповідних параметрів.

Розроблено модифікації моделі під час використання консервативних і оптимістичних алгоритмів синхронізації, які враховують часові характеристики виконання розподіленої імітаційної моделі, час простою обчислювальних ресурсів і витрати віртуальної пам'яті процесу моделювання, удосконалено модель оцінки часу виконання програмних моделей. Вихідною інформацією, що отримується у разі виконання імітаційних моделей, є кортеж параметрів оцінювання розподіленої імітаційної моделі:

$$O = \langle I, \overline{T_i}, \overline{TR_i}, \overline{TR_i^n}, \overline{TP_i^n}, \overline{V_i}, \overline{V_i^n} \rangle, i = \overline{1, N}. \quad (6)$$

На основі розроблених моделей запропоновано ряд методів дослідження розподілених імітаційних моделей для різних методів синхронізації. Розглянемо запропоновані методи.

Метод оцінки можливості розподілу окремих моделей на основі

динамічного зміни обсягів віртуальної пам'яті (рис. 1) містить такі етапи:

Етап 1. Згідно з множиною схем призначення  $K$ , для кожної схеми формуються підмножини програмних моделей  $sm_m^k$ , що розподілені на один ресурс  $R_m$ . Умовою включення програмної моделі до підмножини є належність  $m$ -му ресурсу.

Етап 2. Задати початкові параметри кожної з розподілених імітаційних моделей.

Етап 3. Згідно з розробленим алгоритмом провести обчислення необхідних елементів кортежу (6) для всіх реалізацій розподілених імітаційних моделей та методів синхронізації.

Етап 4. Обчислити вектори змін обсягів пам'яті.

Етап 5. Перевірити виконання умови не збільшення обсягів пам'яті для всіх схем розподілів окремих моделей з  $K$ .

Етап 6. Виключити усі варіанти розподілів, для яких умови не виконуються хоча б для однієї з підмножин.

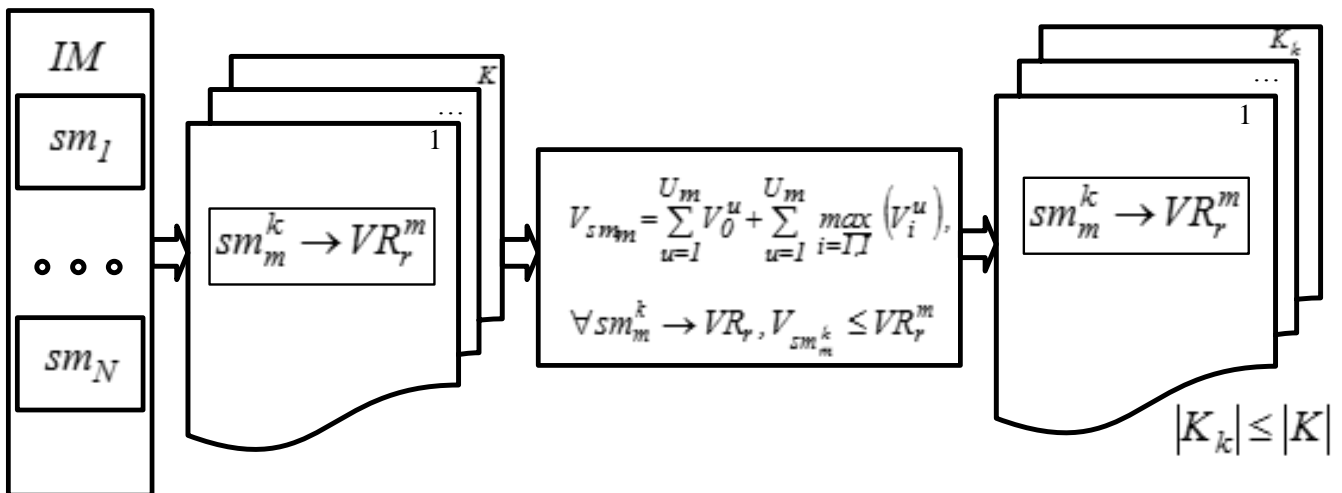


Рисунок 1 – Метод оцінки можливості розподілу окремих моделей на основі динамічної зміни обсягів віртуальної пам'яті

Метод отримання оцінок простою ресурсів з урахуванням різних методів синхронізації розподілених програмних моделей містить такі етапи:

Етап 1. Задати параметри розподілених імітаційних моделей.

Етап 2. Провести обчислення векторів  $TR_i^n$  і  $TP_i^n$  для всіх реалізацій розподілених імітаційних моделей, що характеризують реальний час роботи ресурсів з обслуговування окремих моделей і час простою ресурсів. Значення елементів векторів характеризують кінцевий стан параметрів на момент зупинення процесу імітаційного моделювання.

Етап 3. Обчислити для кожного  $j$ -го ресурсу вартість використання в режимі виконання окремих моделей:  $CR_j = TR_j^n \cdot c_j$ , де  $n$  – номер моделі, розподіленої на  $j$ -й ресурс.

Етап 4. Обчислити для кожного  $j$ -го ресурсу вартість використання в режимі простою:  $CP_j = TP_j^n \cdot c_j$ .

Етап 5. Обчислити сумарну вартість використання  $j$ -го ресурсу:  
 $C_j = CR_j + CP_j$ .

Етап 6. Обчислити сумарну вартість використання ресурсів, а також сумарні вартості використання ресурсів у режимі виконання моделі в режимі простою:  $C = \sum_{j=1}^R C_j$ ,  $CR = \sum_{j=1}^R CR_j$ ,  $CP = \sum_{j=1}^R CP_j$ .

Етап 7. Обчислити коефіцієнти простою ресурсів як відношення часу простою ресурсу до загального часу моделювання:  $\rho_j = \frac{TR_j^n}{TR_I^n + TP_I^n}$

Етап 8. Обчислити коефіцієнти простою ресурсів як відношення часу простою ресурсу до загального часу моделювання:  $\zeta_j = \frac{TP_I^n}{TR_I^n + TP_I^n} = 1 - \rho_j$ .

Етап 9. Отриманий внаслідок виконання пунктів 1-8 кортеж параметрів необхідно використати для оцінки якості використання алгоритмів синхронізації для розподіленої імітаційної моделі:  
 $CC = \langle CR_j, CP_j, C_j, CR, CP, C, \rho_j, \zeta_j \rangle$ .

Розроблена модифікація метода порівняння ефективності розподілених імітаційних моделей за максимальним просуванням модельного часу (рис. 2) містить такі етапи:

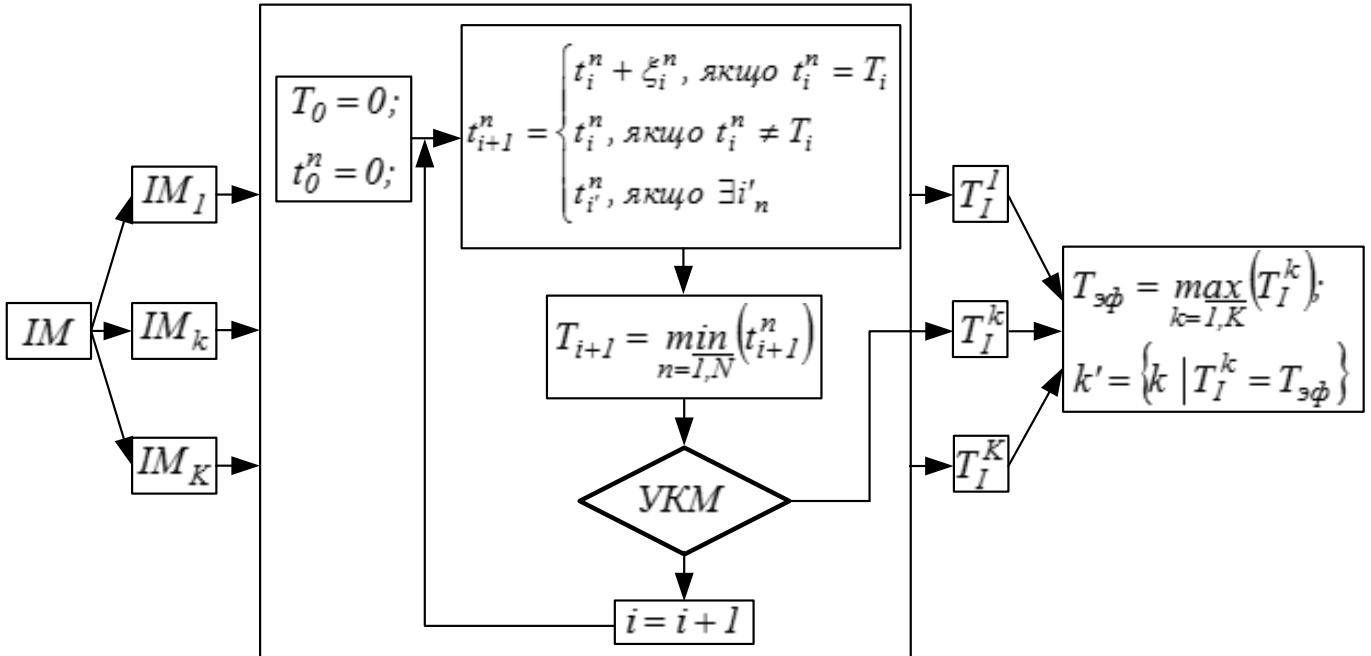


Рисунок 2 – Метод порівняння ефективності розподілених імітаційних моделей за максимальним просуванням модельного часу

Етап 1. Обрати множину можливих реалізацій розподілених імітаційних моделей.

Етап 2. Задати початкові параметри розподілених імітаційних моделей.

Етап 3. Зробити обчислення  $T_I$  для всіх реалізацій розподілених

імітаційних моделей з одночасним отриманням елементів кортежу (6).

Етап 4. Використовуючи метод оцінки можливості розподілу окремих моделей на основі динамічної зміни обсягів віртуальної пам'яті, обрати схему призначення для програмних моделей з оптимістичною синхронізацією.

Етап 5. Використовуючи метод оцінок простою ресурсів, обрати схему призначення для програмних моделей з консервативною синхронізацією.

Етап 6. Обрати з двох схем призначення (результат попередніх етапів) ту схему призначення, для програмних моделей якої  $T_1$  є максимальним.

**У четвертому** розділі запропоновано інформаційну технологію розподіленого імітаційного моделювання GRID-систем з дослідженням розподілених програмних моделей та вибором схеми призначення. Технологія містить наступні етапи:

Етап 1. Отримання завдання на моделювання у вигляді сукупності конфігураційних, виконуваних, інформаційних файлів  $n_i = \{ Z^i, \bigcup_{j=1}^N Pr_j^i, D_j^i, W^i \}$ ,

де  $Z$  – конфігураційний файл опису завдання,  $P_r$  – програмна модель,  $D$  – файл (файли) вхідних даних, що визначає початковий стан програмних моделей,  $W$  – ім'я файла (імена файлів), до яких записуються результати моделювання. Конфігураційний файл завдання  $Z$  містить інформацію про програмні моделі, необхідні ресурси і т.п., наприклад,  $Z^i = \{ ar_i^z, os_i^z, pc_i^z, ps_i^z, ms_i^z, dc_i^z, pr_i, ca_i, bw_i, rt_i, \dots \}$ , де  $ar$  – архітектура процесора;  $os$  – операційна система;  $pc$  – необхідна продуктивність процесорів;  $ps$  – швидкодія процесорів;  $ms$  – обсяг оперативної пам'яті;  $dc$  – необхідний обсяг вінчестера;  $ca$  – коефіцієнт зв'язності завдань у завданні;  $pr$  – пріоритет завдання;  $bw$  – пропускна здатність каналу зв'язку для організації обміну між програмними моделями;  $rt$  – час виконання завдання і т.п. Далі виконується паралельний запуск етапів 2 і 3.

Етап 2. На основі  $Z$  проходить ініціалізація апріорних даних за розподіленими програмними моделями та розміщення завдання у черзі очікування розподілу. Перехід до етапу 5.

Етап 3. Перевірка наявності у базі даних інформації про попередні запуски моделі (згідно з атрибутом  $Z$ ), отриманої від підсистеми аналізу моделі та зібраної внаслідок моніторингу попередніх процесів імітаційного моделювання. Якщо дані присутні у базі даних, відбувається завантаження інформації з бази даних і перехід до етапу 5.

Етап 4. Запуск програмних моделей, що моделюють процеси імітації, дослідження поведінки моделей з різними методами синхронізації (консервативними і оптимістичними). Результатом є отримання вектору параметрів (6).

Етап 5. Застосування стандартних методів розподілу ресурсів з метою отримання множини допустимих схем розподілу ресурсів. Вирішується завдання розподілу програмних моделей  $Pr_j^i$  на доступні ресурси  $\bigcup_{m=1}^M R_m$ .

Результатом є множина доступних схем призначення, де кожному програмному компоненту ставиться у відповідність обчислювальний ресурс

$$P = \bigcup_k \left\{ Pr_j^i \rightarrow R_m, \forall j = \overline{1, N} \right\}_k \quad (k - \text{кількість допустимих схем призначення}).$$

Ефективність розподілу визначається мінімізацією часу імітації або кількістю ресурсів.

Етап 6. Застосування методів аналізу розподілених програмних моделей, розглянутих у третьому розділі. Метою виконання етапу є знаходження схеми призначення, що має мінімальний час виконання з виконанням обмежень на обсяги пам'яті, займані програмними моделями і часу простою обчислювальних ресурсів. Наприкінці етапу проводиться збереження інформації, отриманої внаслідок застосування методів оцінки схем розподілу, в базі даних.

Етап 7. Виклик брокера ресурсів, що реалізує фізичний розподіл локальних програмних моделей на обчислювальні ресурси відповідно до обраної схеми призначення.

Етап 8. Використання засобів моніторингу системи моделювання і операційної системи для отримання динамічних параметрів процесу імітації і збереження їх у базі даних. Збереження у базі даних апріорних параметрів експерименту та отримані внаслідок застосування технології аналізу та збору статистичних даних від систем моніторингу середовища виконання програмних моделей.

Етап 9. Передача результатів виконання завдання користувачеві.

Діаграма дій розробленої технології розподіленого імітаційного моделювання з етапами інформаційної технології наведена в рукописі дисертації та відображає, що деякі етапи можливо виконати паралельно.

Запропоновано архітектуру розподіленої імітаційної системи моделювання GRID-систем з урахуванням розробленої інформаційної технології. Архітектура має ряд переваг: гнучкість настроювання, простота модифікації, спрощення розробки, тестування, підтримки та оновлення системи. Компонентна діаграма системи наведена на рис. 4.

Запропоновано архітектуру візуального інтерфейсу для розподіленої імітаційної системи моделювання GRID-інфраструктури – GRASS. Вирішення дозволило виділити візуалізацію даних в окрему підсистему, зменшити зв'язаність модулів у системі та збільшити їх внутрішню зв'язність. Однією з основних переваг архітектури є можливість підключення нових модулів зі своїми оригінальними функціями візуалізації без перекомпіляції всього проекту. Гнучкість розробленої архітектури дозволяє розширювати або модифікувати модулі візуалізації з метою проведення більш складних експериментів.

Проведено ряд експериментів, які дозволили перевірити працездатність та ефективність запропонованої технології аналізу програмних моделей у системі моделювання GRASS під управлінням різних алгоритмів синхронізації. Аналіз результатів експериментів показав, що впровадження інформаційної технології аналізу розподілених програмних моделей дозволив зменшити час

моделювання та кількість обчислювальних ресурсів у середньому на 36% та 28% відповідно. Одночасно з цим зменшилися час простою ресурсів у середньому на 19% та кількість конфліктів пам'яті на 54%.

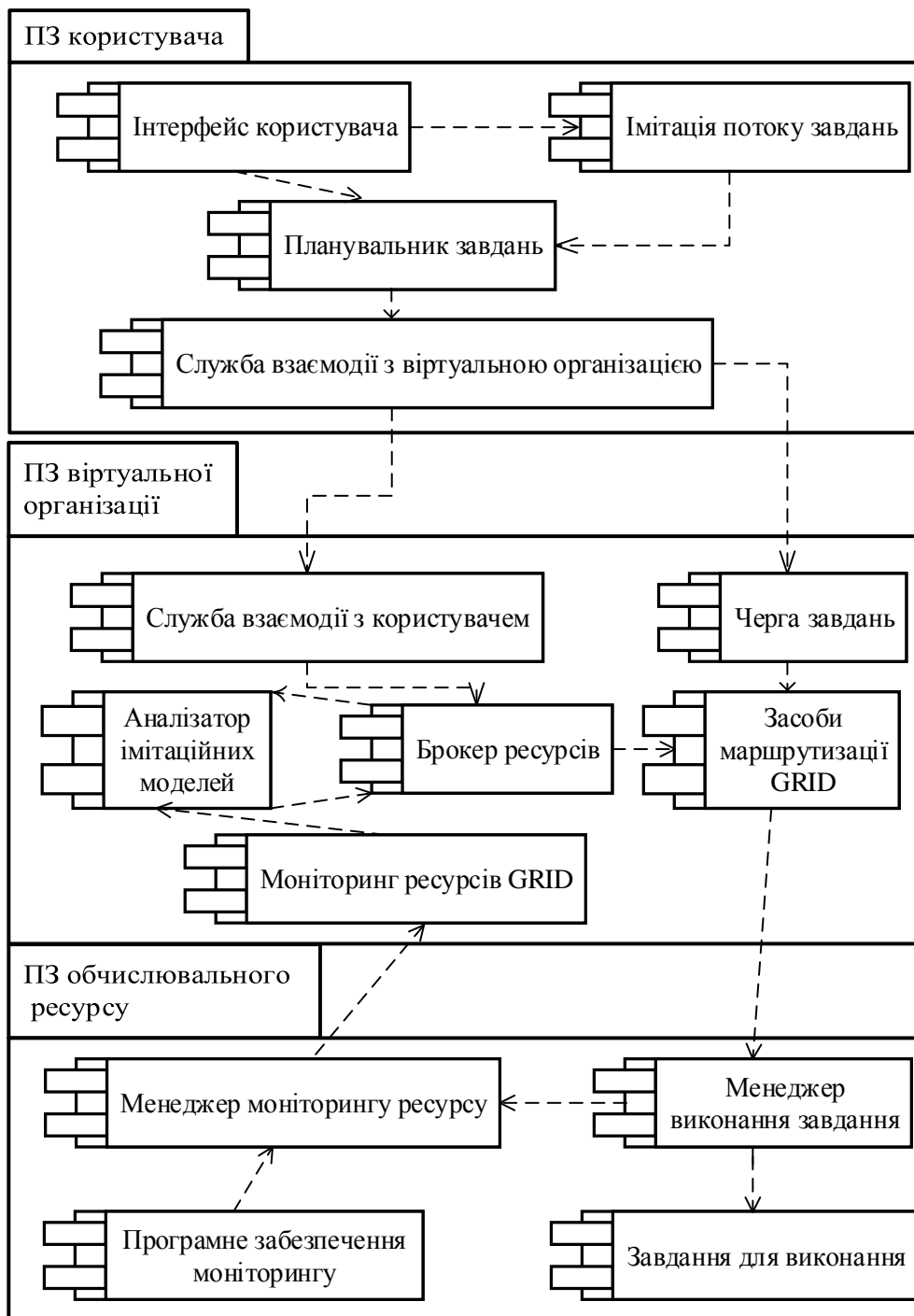


Рисунок 4 – Компонентна модель розподіленої системи моделювання GRASS

У додатках наведено акти про впровадження результатів дисертаційної роботи у виробництво, держбюджетні роботи та навчальний процес, текст конфігураційних файлів системи моделювання, віконні форми візуального інтерфейсу системи GRASS.



## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі представлені результати, які відповідно до поставленої мети є вирішенням актуальної науково-практичної задачі розробки моделей, методів та інформаційної технології аналізу розподілених програмних моделей, що дозволяють зменшити час моделювання та необхідну для моделювання кількість обчислювальних ресурсів в процесі розподіленого імітаційного моделювання.

У процесі виконання роботи для вирішення єдиної наукової проблеми були отримані такі наукові результати:

1. Розроблено моделі предметної області на підставі процесного подання окремих моделей як програмних елементів обчислювального середовища, які на відміну від існуючих, враховують динамічну зміну обсягів пам'яті, час простою, що дозволяє задовольнити встановлені обмеження на обсяг оперативної пам'яті та мінімізувати час простою обчислювальних ресурсів для різних умов синхронізації програмних моделей.

2. Розроблено модифікації моделей для випадків синхронних, консервативних, оптимістичних методів синхронізації розподілених імітаційних моделей, які враховують методи синхронізації модельного часу та архітектуру локальних моделей стандарту HLA, що дозволяє оцінити час виконання програмних моделей для різних схем розподілу ресурсів з урахуванням обмежень на обсяг пам'яті та сумарний час простою обчислювальних ресурсів.

3. Розроблено метод оцінки можливості розподілу окремих моделей на основі динамічної зміни обсягів віртуальної пам'яті, що дозволяє врахувати зміну обсягів пам'яті, особливо у випадку оптимістичних алгоритмів синхронізації програмних моделей, зменшити кількість обчислювальних ресурсів, урахувати обмеження на обсяг пам'яті та зменшити час моделювання.

4. Розроблено метод отримання оцінок простою ресурсів для консервативних алгоритмів синхронізації розподілених імітаційних моделей, що дозволяє оцінити час виконання програмних моделей для різних схем розподілу ресурсів з урахуванням часу простою обчислювальних ресурсів.

5. Удосконалено метод порівняння ефективності розподілених імітаційних моделей за максимальним просуванням модельного часу, що, на відміну від існуючого, враховує можливість зміни обсягу пам'яті програмних моделей та обсягів даних, які передаються між програмними моделями, а також час простою ресурсів, що дозволяє оцінити час виконання програмних моделей для різних схем розподілу ресурсів з урахуванням обмежень на обсяг пам'яті та час простою обчислювальних ресурсів.

6. Набули подальшого розвитку методи розподілу програмних моделей за обчислювальними ресурсами у розподіленому імітаційному моделюванні GRID-систем, які, на відміну від існуючих, дозволяють здійснювати розподіл ресурсів з максимальним просуванням модельного часу за обмежень на обсяг оперативної пам'яті, часу простою та обрати спосіб синхронізації програмних моделей, що забезпечує підвищення ефективності процесу розподіленого імітаційного моделювання шляхом зменшення часу моделювання та кількості

обчислювальних ресурсів.

На основі створених моделей і методів розроблено інформаційну технологію, алгоритми та програмне забезпечення аналізу розподілених імітаційних моделей. Використання розроблених у дисертаційній роботі методів і засобів дає можливість підвищити ефективність процесу створення розподілених імітаційних моделей, а також процесу проведення імітації в GRID або хмарних інфраструктурах. Експериментальні дослідження підтвердили коректність запропонованих моделей і методів.

Отримані теоретичні результати були використані при розробці програмного забезпечення імітаційного моделювання інформаційних систем.

Достовірність отриманих практичних результатів дисертаційної роботи підтверджена експериментальними дослідженням створеного програмного забезпечення, результатами моделювання реальних інформаційних систем.

Напрямки теоретичних і практичних досліджень дисертаційної роботи доцільно розвивати в області створення і використання розподілених імітаційних систем моделювання.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Алгоритмічна модель процесу розподіленої імітації для технології аналізу розподілених імітаційних моделей / М. О. Волк, Р. М. Гридель, С. Н. Саранча, Д. А. Гавриш // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Х., 2013. – № 2 (66). – С. 32–36.

2. Волк М. А. Методы распределения ресурсов для GRID-систем / М. А. Волк, Т. В. Филимончук, Р. Н. Гридель // Зб. наук. пр. Харк. ун-ту Повітр. Сил. – Х., 2009. – Вип. 1 (19). – С. 100–104.

3. Волк М. А. Архитектура имитационной модели GRID-системы, основанная на подключаемых модулях / М. А. Волк, Р. Н. Гридель, А. С. Горенков // Системи обробки інформації. – Х., 2010. – Вип. 1 (82). – С. 17–20.

4. Волк М. А. Архитектура подсистемы визуализации данных распределенной имитационной системы моделирования GRID / М. А. Волк, Р. Н. Гридель, А. С. Олендаренко // АСУ и приборы автоматики. – Х., 2010. – Вип. 150. – С. 89–92.

5. Анализ распределенных имитационных моделей с консервативными алгоритмами синхронизации / М. А. Волк, Р. Н. Гридель, М. А. Филимончук, Муаз Ал Шиблак // Зб. наук. пр. Харк. ун-ту Повітр. Сил. – Х., 2012. – Вип. 1 (30). – С. 95–98.

6. Волк М. А. Анализ распределенных имитационных моделей с оптимистическими алгоритмами синхронизации / М. А. Волк, Р. Н. Гридель, Муаз Ал Шиблак // Системи обробки інформації. – Х., 2013. – Вип. 1 (108). – С. 35–40.

7. Формализация процессов распределенной имитации информационных систем / М. А. Волк, Р. Н. Гридель, Т. В. Филимончук, Муаз Ал Шиблак // Системи обробки інформації. – Х., 2013. – Вип. 4 (111). – С. 89–93.

8. Волк М. А. Технологии синхронизации распределенных компьютерных моделей / М. А. Волк, Р. Н. Гридель, Муаз Ал Шиблак // Информатика,

математическое моделирование, экономика : сб. науч. ст. по итогам Третьей Междунар. науч.-практ. конф., 24–26 апр. 2013 г. – Смоленск, 2013. – Т. 1. – С. 54–59.

9. Волк М. А. Элементы распределенной имитационной модели GRID-систем / М. А. Волк, Р. Н. Гридель, К. Ю. Дьяченко // Системный анализ и информационные технологии : материалы XI Междунар. науч.-техн. конф., 26–30 мая 2009 г. – К. : НТУУ «КПИ», 2009. – С. 422.

10. Гридель Р. Н. Расширение методов анализа алгоритмов синхронизации времени для распределенного имитационного моделирования в GRID-системах / Р. Н. Гридель // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке : материалы 14-го междунар. молодеж. форума, 18–20 марта 2010 г. – Х. : ХНУРЭ, 2010. – Ч. 2. – С. 212.

11. Волк М. А. Архитектура имитационной модели GRID-системы, основанная на подключаемых модулях / М. А. Волк, А. С. Горенков, Р. Н. Гридель // Проблеми інформатики і моделювання : матеріали 9-ї міжнар. наук.-техн. конф., 26–28 листоп. 2009 р. – Х. : НТУ «ХП», 2009. – С. 42.

12. Волк М. А. Имитационная система моделирования GRID-инфраструктуры GRASS / М. А. Волк, Р. Н. Гридель, Т. В. Филимончук // Системный анализ и информационные технологии : материалы XII Междунар. науч.-техн. конф., 25–29 мая 2010 г. – К. : НТУУ «КПИ», 2010. – С. 359.

13. Волк М. А. Метод анализа распределенных имитационных моделей / М. А. Волк, Р. Н. Гридель, Муаз Ал Шиблак // Інформаційні технології в навігації і управлінні: стан та перспективи розвитку : матеріали першої міжнар. наук.-техн. конф., 5–6 лип. 2010 р. – К. : ДП «ЦНДІ НіУ», 2010. – С. 46.

14. Гридель Р. Н. Применение процессной алгебры для формального описания систем имитационного моделирования / Р. Н. Гридель, С. А. Олищук // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке : материалы 13-го междунар. молодеж. форума, 30 марта – 1 апр. 2009 г. – Х. : ХНУРЭ, 2009. – Ч. 2. – С. 202.

15. Волк М. А. Анализ моделей потоков заданий для моделирования рабочей нагрузки в GRID-системах / М. А. Волк, Р. Н. Гридель, В. В. Зозуля // Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління : матеріали першої наук.-техн. конф., 13–14 груд. 2010 р. – Х. : ДП «ХНДІ ТМ» ; К. : ДП «ЦНДІ НіУ», 2010. – С. 75.

16. Волк М. А. Методы анализа распределенного имитационного моделирования с учетом сетевого трафика / М. А. Волк, Р. Н. Гридель, Муаз Ал Шиблак // Інформаційні технології в навігації і управлінні: стан та перспективи розвитку : матеріали другої міжнар. наук.-техн. конф., 16–17 лип. 2011 р. – К. : ДП «ЦНДІ НіУ», 2011. – С. 45.

17. Волк М. А. Расширенный анализ распределенных имитационных моделей с оптимистическими и консервативными алгоритмами синхронизации / М. А. Волк, Р. Н. Гридель // Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління : матеріали другої наук.-техн. конф., 15–16 груд. 2011 р. – К. : ДП «ЦНДІ НіУ» : КДАВТ ; Х. : ДП «ХНДІ ТМ», 2011. – С. 36.

18. Волк М. А. Менеджер памяти распределенных имитационных моделей / М. А. Волк, Р. Н. Гридель, Муаз Ал Шиблак // Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління : матеріали третьої міжнар. наук.-техн. конф., 11–12 квіт. 2013 р. – Полтава : ПНТУ ; Белгород : НДУ «БілДУ» ; Х. : ДП «ХНДІ ТМ» ; К. : НТУ ; Кіровоград : КЛА НАУ, 2013. – С. 34.

19. Волк М. А. Технология синхронизации в распределенном имитационном моделировании / М. А. Волк, Р. Н. Гридель, Муаз Ал Шиблак // Внедрение перспективных микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и средств телекоммуникаций на базе цифровизации : материалы 26-й междунар. науч.-практ. конф., 23–28 сент 2013 г., Алушта, Украина. – Алушта, 2013. – С. 63.

20. Волк М. А. Информационная технология анализа распределенных имитационных моделей / М. А. Волк, Р. Н. Гридель, Муаз Ал Шиблак // Проблеми інформатизації : матеріали першої міжнар. наук.-техн. конф., 19–20 груд. 2013 р. – Черкаси : ЧДТУ ; Київ : ДУТ ; Тольятті : ТДУ ; Полтава : ПНТУ, 2013. – С. 29.

21. Волк М. А. Информационные технологии обеспечения распределенного имитационного моделирования / М. А. Волк, Р. Н. Гридель // Проблеми інформатизації : матеріали другої міжнар. наук.-техн. конф., 12–13 квіт. 2014 р. – К. : ДУТ ; Полтава : ПНТУ ; Катовице ; Париж ; Білгород : НДУ «БДУ» ; Черкаси : ЧДТУ ; Харків : ХНДІТМ, 2014. – С. 56.

### АНОТАЦІЯ

Гридель Р.М. Моделі, методи та інформаційна технологія аналізу розподілених програмних моделей GRID-систем. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2014.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-практичної проблеми створення на єдиній методологічній основі нових моделей, методів та інформаційної технології аналізу розподілених програмних моделей.

У роботі розроблені моделі предметної області на підставі процесного подання окремих моделей як програмних елементів обчислювального середовища; розроблені модифікації моделей для випадків синхронних, консервативних, оптимістичних методів синхронізації розподілених імітаційних моделей.

На основі розроблених моделей запропоновано методи аналізу розподілених програмних моделей: метод порівняння ефективності розподілених імітаційних моделей за максимальним просуванню модельного часу, метод оцінки можливості розподілу окремих моделей на основі динамічної зміни обсягів віртуальної пам'яті, метод отримання оцінок простою ресурсів для алгоритмів синхронізації розподілених імітаційних моделей.

На основі розроблених методів запропонована інформаційна технологія та програмне забезпечення аналізу процесів розподіленого імітаційного

моделювання.

Ключові слова: програмна модель, розподілене імітаційне моделювання, локальна модель, розподілені обчислювальні ресурси, система імітаційного моделювання, інформаційна технологія аналізу.

### АННОТАЦИЯ

Гридель Р.Н. Модели, методы и информационная технология анализа распределенных программных моделей GRID-систем. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2014.

Диссертационная работа посвящена решению научно-практической проблемы создания на единой методологической основе новых моделей, методов и информационной технологии анализа распределенных программных моделей.

Разработана имитационная модель процесса распределенного дискретно-событийного моделирования, учитывающая динамическое изменение объемов памяти, потоков данных в локальных моделях, время простоя вычислительных ресурсов, методы синхронизации модельного времени и архитектуру локальных моделей стандарта HLA, что позволяет выполнить установленные ограничения на объем оперативной памяти и минимизировать время простоя вычислительных ресурсов при оптимистических и консервативных методах синхронизации программных моделей. Усовершенствована модель оценки времени выполнения программных моделей введением параметров изменения объемов памяти программных моделей и объемов передаваемых данных между программными моделями, а также время простоя ресурсов, что позволяет оценить время выполнения программных моделей для различных схем распределения ресурсов с учетом ограничений на объем памяти и суммарное время простоя вычислительных ресурсов;

Разработаны методы оценки схемы распределения локальных программных моделей по вычислительным ресурсам, которые на основе характеристик динамического изменения объемов их сегментов данных, дампов памяти состояний моделей и оценок простоев ресурсов, выбирают приемлемые схемы распределения ресурсов, что позволяет уменьшить время выполнения и количество вычислительных ресурсов при реализации оптимистичных и консервативных методах синхронизации программных моделей. Получили дальнейшее развитие методы распределения программных моделей по вычислительным ресурсам в распределенном имитационном моделировании GRID-систем, которые выбирают схемы распределения ресурсов с максимальным ходом модельного времени при ограничениях на объем оперативной памяти, времени простоя и выбирают способ синхронизации программных моделей, что позволяет повысить эффективность процесса распределенного имитационного моделирования путем уменьшения времени моделирования и количества вычислительных ресурсов.

Разработанные модели и методы использовали процессное представление

частных моделей как программных элементов вычислительной среды, разные алгоритмы синхронизации программных моделей, спецификацию взаимодействия программных моделей и среды моделирования RTI, построенных на основе стандарта HLA. На основе разработанных методов предложена информационная технология и программное обеспечение анализа процессов распределенного имитационного моделирования.

Использование разработанных в диссертационной работе методов и средств дает возможность повысить эффективность процесса создания распределенных имитационных моделей, а также процесса проведения имитации в GRID или облачных инфраструктурах. Экспериментальные исследования подтвердили корректность предложенных моделей и методов. Полученные теоретические результаты реализованы при разработке программного обеспечения имитационного моделирования информационных систем.

Ключевые слова: программная модель, распределенное имитационное моделирование, локальная модель, распределенные вычислительные ресурсы, система имитационного моделирования, информационная технология анализа.

### **ABSTRACT**

Gridel R.M. Models, methods and information technology analysis of distributed software simulation models GRID-systems. – Manuscript.

Dissertation for candidate of technical sciences (Ph.D.) degree in specialty 05.13.06 – information technology. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 2014.

The thesis is devoted to scientific and practical problems of creating a single methodological basis for new models, methods and information technology analysis of distributed software models.

Domain model based on process models as representing private program elements computing environment is developed; modifications models for the cases of synchronous, conservative and optimistic synchronization methods of distributed simulations are developed.

Methods of analysis software distributed models are proposed: a method of comparing the effectiveness of distributed simulation models to maximize the promotion of model time, the method of assessing the sharing of private models based on dynamic changes in the size of virtual memory, a simple method for obtaining estimates of resources for synchronization algorithms of distributed simulations .

Information technology and analysis software processes of distributed simulation based on developed methods are proposed.

Keywords: software model, distributed simulation, a local model, distributed computing resources, system simulation and information technology analysis.

Підп. до друку \_\_\_\_\_. Формат 60×841/16. Спосіб друку – ризографія.  
Умов. друк. арк. 2.0. Тираж 100 прим.  
Ціна договірна. Зам. № \_\_\_\_\_.

---

ХНУРЕ, 61166, Харків, пр. Леніна, 14.

---

Віддруковано в навчально-науковому  
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ.  
Україна, 61166 Харків, пр. Леніна, 14.