

**Методи та новітні підходи до проектування, управління
і застосування високопродуктивних ІТ-інфраструктур**

- Погорілий С.Д.** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії Київського національного університету імені Тараса Шевченка
- Теленик С.Ф.** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та управління в технічних системах НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
- Кривий С.Л.** доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри інформаційних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка
- Глибовець М.М.** доктор фізико-математичних наук, професор, декан факультету інформатики, завідувач кафедри інформатики Національного університету «Києво-Могилянська академія»
- Ролік О.І.** доктор технічних наук, професор кафедри автоматизації та управління в технічних системах НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
- Опанасенко В.М.** доктор технічних наук, професор, старший науковий співробітник Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
- Волохов В.М.** кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри теорії та технології програмування Київського національного університету імені Тараса Шевченка
- Бойко Ю.В.** кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерної інженерії, директор Інформаційно-обчислювального центру Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Реферат

Київ 2018

Актуальність роботи. Перехід України до інформаційного суспільства передбачає формування відповідного науково-технічного базису для *створення необхідної інформаційної інфраструктури держави*. Глобалізація світової економіки, розбудова соціально-орієнтованого середовища, що забезпечує розвиток людини, обумовлює новий рівень вимог до інформаційних технологій (ІТ). Жодне підприємство, організація чи спільнота не можуть ефективно функціонувати у сучасному світі без засобів телекомунікації, накопичення і обробки інформації, організації і підтримки різних видів діяльності. Відповідно до сучасних концепцій та світових тенденцій розвитку розподілені системи мають відігравати домінуючу роль у формуванні обчислювального потенціалу держави і визначають рівень її розвитку. Науково-технічний базис інформаційного суспільства складає ІТ-інфраструктура, концепція формування і втілення якої у світі утвердилася у кінці ХХ – на початку ХХІ століть.

Означення. ІТ-інфраструктура є сукупністю взаємопов'язаних ІТ, мереж, необхідних ресурсів і обладнання кінцевих користувачів та їх оточення як організованої структури прикладних та інформаційних послуг, взаємодія яких забезпечує користувачам збір, обробку та збереження потрібної інформації.

У великих розподілених комп'ютерних системах на якісно новому рівні реалізуються ідеї, що пов'язані з удосконаленням інформаційно-обчислювальних процесів. Провідні аналітичні агенції світу визначили перспективні напрями розвитку ІТ-галузі, які безпосередньо пов'язані з проектуванням, управлінням і використанням потужних ІТ-інфраструктур. До них належать такі:

1. *Втілення ідеї глобалізації у розвитку корпоративних, національних і глобальних ІТ-інфраструктур.*

2. *Поява нових видів провайдерів* — Інтернет, прикладних застосунків, інструментів розробки, контенту, потокового відео та інших — і формування класу конвергентних провайдерів сервісів.

3. *Зосередження провайдерів на проблемах користувачів та інтеграція ресурсів центрів обробки даних (ЦОД)* — комплексних організаційно-технічних рішень для високопродуктивних відмовостійких ІТ-інфраструктур. ЦОД забезпечують збереження і обробку даних користувачів, підтримку надання їм сервісів і функціонування корпоративних застосунків.

4. *Поява хмарних обчислень* — *Cloud Computing* як нового етапу розвитку технологій консолідації обчислень. Поєднуючи переваги концентрації потужностей в ЦОД і їх розподіленого використання, вони забезпечують оптимізацію ресурсів ЦОД і ІТ-середовища в цілому — знижуються витрати на придбання ресурсів, зростає ефективність їх використання, підвищується рівень обслуговування, забезпечуються надійність та масштабованість.

5. *Віртуалізація платформ і ресурсів ІТ-інфраструктури*, як засіб для абстрагування від особливостей ресурсів ІТ-інфраструктури і об'єднання їх в апаратно-програмні комплекси потрібної конфігурації. Спрощуючи управління групами ресурсів і доступ користувачів до них, підвищуючи ефективність їх використання, віртуалізація поступово охоплює сервери, системи збереження даних (СЗД), “важкі” застосунки і управління ресурсами розподілених ЦОД.

6. *Поява мережоцентричних архітектур* як бази електронної комерції і поширення сервіс-орієнтованої (*Service-Oriented Architecture*) і *WEB-орієнтованої (WEB-Oriented Architecture) архітектур*. Інтегруючи розрізнені фрагменти

оточення користувачів і формуючи єдине ІТ-середовище, вони уможливають його сприйняття користувачем як єдиного “світу” сервісів, джерел інформації, застосувань, взаємодією яких можна визначати близькими користувачеві термінами семантичних метаописів контенту мережі.

7. *Поширення компонентно-базованого підходу до створення АІС і АСУ шляхом комплексування готових компонентів, що наявні у компаній і в єдиному ІТ-середовищі. Розробка композитних застосувань і комбінованих сервісів на базі WEB-технологій перейшло на рівень визначення семантики об’єктів для мереж розподілених документів на основі XML, Resource Definition Framework і WEB Document Object Model за єдиного підходу до архітектури розроблюваних WEB-застосунків.*

8. *Розвиток розподілених СЗД, об’єднання сховищ Network Area Storage і Storage Area Network на основі їх ІР-взаємодії із застосунками. Користувачі можуть створювати віртуальні повнофункціональні комплекси технічних засобів на основі сервісів за моделлю ІaaS.*

9. *Широке впровадження автоматизації і поява систем управління ІТ-інфраструктурою (СУІ) надання сервісів внаслідок її ускладнення. Як основа створення ІТ-середовища, СУІ забезпечують підтримку таких груп процесів управління, як управління інфраструктурою (проектування і планування, розширення, супроводження і технічна підтримка); підтримка обслуговування (управління інцидентами і проблемами, конфігурацією і змінами, релізами); управління наданням послуг (рівнем обслуговування, ІТ-послугами, готовністю, неперервністю обслуговування, потужностями).*

10. *Розв’язання проблеми забезпечення процесу підтримки створення ІТ-інфраструктур науково обґрунтованими, ефективно представленими і максимально повними інформаційними ресурсами. Наприклад, розвитком таких інформаційно-комунікаційних напрямків як Інтернет речей (Internet of Things – ІoТ) та smart-середовища на основі реконфігурованих пристроїв.*

На сьогодні в Україні присутні розрізнені складові ІТ-інфраструктури. Однак, відсутні цілісна модель ІТ-інфраструктури і методологічні засади її створення, управління нею і її використання. Наведені аргументи визначають високу актуальність роботи.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Тематика робіт, що спрямовані на розробку моделей, методів і технологій управління ІТ-інфраструктурою, включена в науково-технічні плани Київського національного університету імені Тараса Шевченка, НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Інституту кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України, Національного університету «Києво-Могилянська академія». Робота виконувалась в рамках ряду держбюджетних та договірних науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт.

Метою роботи є формування цілісної науково обґрунтованої методології підтримки процесів проектування, управління і використання ІТ-інфраструктури та експериментальна перевірка її працездатності шляхом розробки і впровадження технологій проектування та управління ІТ-інфраструктурою, надання різноманітних сервісів на її основі – програмних, високопродуктивних обчислень та інструментів розробки.

Методи досліджень. Результати проведених досліджень ґрунтуються на:

- теорії мереж Петрі, за допомогою яких моделюються послідовні, паралельні та розподілені комп'ютерні системи та їх модифікації – кольорових мережах Петрі, а також теорії скінченних автоматів та неklasичних логіках;
- транзиційних системах, які являють собою дискретні моделі обчислень;
- системі модифікованих алгоритмічних алгебр Глушкова, яка є потужним математичним апаратом трансформації алгоритмів;
- теорії керування;
- теорії та методах паралельного програмування;
- теорії реконфігуровного комп'ютінга;
- принципах і парадигмах побудови розподілених комп'ютерних систем.

Об'єктом дослідження є процеси проектування і управління ІТ-інфраструктурою, розробка програмного (ПЗ) та апаратного (АЗ) забезпечення для надання інформаційно-комунікаційних сервісів (ІКС) та процеси діяльності провайдерів зазначених сервісів.

Предметом дослідження є моделі і методи проектування і управління ІТ-інфраструктурою, методи розробки ПЗ та АЗ для побудови інформаційно-комунікаційних сервісів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні науково обґрунтованої цілісної методології проектування, управління та використання складного об'єкта управління – сучасних глобальних, національних і корпоративних ІТ-інфраструктур. В межах цієї методології вперше:

- розроблено теоретичні засади проектування, аналізу властивостей математичних моделей ІТ-інфраструктур та їх сервісів;
- створено методи побудови систем, що функціонують в розподіленому високопродуктивному середовищі, на основі парадигми моделі-орієнтованих архітектур;
- створено прикладну схематологію алгоритмічного забезпечення для розподілених архітектур суперкомп'ютерів;
- розроблено алгоритми синтезу адаптивних логікових мереж, що представлено багаторівневими структурами на базі універсальних логікових елементів.

Наукове значення роботи полягає в:

- розробці теоретичних засад та створення на їх основі методології побудови ІТ-інфраструктур та сервісів для інформаційних технологій, суперкомп'ютерних систем і формування моделі-орієнтованих методів та програмно-алгоритмічних засобів їх трансформаційного проектування;
- створенні методів, способів проектування та управління ІТ-інфраструктурами і базовим ПЗ;
- розробці теоретичних підстав надання ефективних несуперечних між собою сервісів високопродуктивних обчислень на базі ІТ-інфраструктури;
- розробці теоретичних засад та створення на їх основі методології побудови реконфігурованих пристроїв та систем.

Прикладне значення одержаних результатів полягає у:

- використанні методології побудови ІТ-інфраструктури, яка дозволяє розв'язати технологічні проблеми, пов'язані з використанням нових платформ та складністю програмних компонент таких систем;
- використанні результатів роботи з метою підвищення продуктивності праці при виконанні проектних робіт у високопродуктивному середовищі суперкомп'ютера та розв'язанні задач управління складними системами;
- створенні методології побудови реконфігурованих пристроїв та систем на основі адаптивних логікових мереж (АЛМ) для розв'язання задач класифікації та управління;
- впровадженні моделі параметризованих об'єктно-орієнтованих баз даних, що дозволило розробити високопродуктивний технологічний комплекс.

Результати роботи використані:

- **при формуванні складових ІТ-інфраструктур у державних інституціях**, зокрема в: Міністерстві оборони України, Апараті Ради національної безпеки і оборони України, Державній службі України з надзвичайних ситуацій, Секретаріаті Кабінету Міністрів України, Генеральній прокуратурі України, Державній судовій адміністрації України, Державній службі зайнятості (центральный апарат);
- **при створенні і впровадженні інструментальних комплексів** проектування об'єктно-орієнтованих баз даних з високим рівнем параметризації, який забезпечив розробку низки сервіс-орієнтованих параметризованих програмних засобів електронного урядування, зокрема у системах: «Керівний склад центральних та місцевих органів виконавчої влади України» у Секретаріаті Кабінету Міністрів України; «Кадри Генеральної прокуратури України»; пілотне хмарне WEB-рішення системи управління персоналом у Державній службі зайнятості України;
- **при створенні ІТ-інфраструктур у провідних вищих навчальних закладах** України, а саме: Київському національному університеті імені Тараса Шевченка, національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», національному університеті «Києво-Могилянська академія», національному університеті «Острозька академія», Чорноморському національному університеті імені Петра Могили та Вінницькому національному технічному університеті;
- **в бізнес-структурах для створення механізмів управління** функціонуванням ІТ-інфраструктур на основі запропонованих моделей і методів в системах керування провідних провайдерів інформаційно-комунікаційних сервісів *на всіх континентах*:
Ortus – Австралія;
Singtel (Сінгапур), KDDI (Японія) – Азія;
TE Data (Єгипет) – Африка;
ТОВ «Навігатор» (Україна), Т-Mobile (Чехія) – Європа;
Sprint, Suddenlink (США), Telus, Bell Canada (Канада) – Америка;
- **при розробці експериментального ядра** проблемно-орієнтованого процесора для апаратної реалізації робастних алгоритмів класифікації та управління.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Структура та обсяг роботи. Робота складається із вступу, шести розділів і списку літератури.

Розділ 1 містить теоретичні основи проектування, верифікації та дослідження основних властивостей ІТ-інфраструктури та її компонентів. Основна увага приділяється виявленню тупиків в структурі, дослідженню властивостей взаємного виключення, живучості, обмеженості, керованості тощо. Основними математичними моделями, які при цьому використовуються, є транзиційні системи, мережі Петрі, діофантові обмеження та скінченні автомати, а також класичні логіки та некласичні (темпоральні).

У **розділі 2** описуються методи і моделі проектування архітектур суперкомп'ютерних систем та систем із масовим паралелізмом на основі застосування технологій PXE та віртуалізації, які забезпечують створення, розширення, звуження, знищення відповідно віртуальних машин, віртуальних сховищ даних і віртуальних телекомунікаційних мереж за рахунок додавання і вилучання обчислювальних і комунікаційних потужностей, оперативної і зовнішньої пам'яті, систем збереження даних і телекомунікаційних мереж. Ці методи і моделі є базовими для формування сервісів HPCaaS ІТ-інфраструктури. Висунута авторами концепція створення гнучких гомогенних архітектур кластерних систем віддзеркалює дуальне застосування комп'ютерного ресурсу.

Новітні ІТ-інфраструктури суттєво ускладнюють задачу транспорту даних. Для її розв'язання створено методологію формалізованого проектування застосувань, яка ґрунтується на математичному апараті САА-М і створених моделях обчислень для різних архітектур високопродуктивних розподілених комп'ютерних систем. Це дозволяє строгими математичними методами формувати паралельні параметричні схеми відповідних алгоритмів для обчислювальних систем з гомогенними або гетерогенними архітектурами. Створено низку швидких алгоритмів активного й пасивного аналізу динамічного графа алгоритму, що розпаралелюється. Алгоритми працюють у реальному часі та стійкі до колізій, які з'являються внаслідок латентності транспортних каналів. Запропоновано також методи централізованого та децентралізованого динамічного балансування навантаження для обчислювальних і транспортних ресурсів у рамках гетерогенних багатопроекторних систем зі змішаною архітектурою пам'яті.

У **розділі 3** розроблено методологію побудови адаптивних логікових мереж на основі технології реконфігурованого комп'ютинга з використанням сучасної елементної бази – кристалів FPGA (Field-programmable gate array- програмовані користувачем вентильні матриці).

Запропоновано алгоритми синтезу адаптивних структур, які представлені багаторівневими логіковими схемами, що описуються булевою мережею у вигляді ациклічного графу, вершинами якого є універсальні логікові елементи. Результатом синтезу таких структур є визначення типів логікових функцій вершин графу при заданій навчальній вибірці двійкових векторів, що дозволяє використати цю структуру для задачі класифікації вхідних векторів.

Розроблено алгоритми адаптації структур типу АЛМ до поділу множини значень булевих функцій на основі заданих порогового значення і порогового відношень, що дозволяють при фіксованій структурі зв'язків визначити типи

логічних функцій для універсальних логічних елементів. Застосування АЛМ для реалізації порогового пристрою в нейронних мережах на основі персептронів дозволяє приблизно втричі скоротити апаратні витрати кристалу FPGA (кількість слайсів), а також частково підвищити швидкодію.

Запропоновано два методи синтезу багаторівневих логічних схем. Перший засновано на описі булевої мережі поліномами Жегалкіна, коефіцієнти якого задаються за допомогою матриці Адамара. Другий – на основі алгоритму розв’язання СЛНДР в полі лишків за модулем 2 із тим самим описом булевої мережі. Алгоритми їхнього розв’язання мають різні оцінки складності. Якщо для першого маємо експоненціальну оцінку складності, то для другого така оцінка поліноміальна.

Розроблено теоретичні засади побудови адаптивних логічних мереж в різних логічних базисах (AND, NOR, XOR, OR). Обґрунтовано коректність функціонування багаторівневої структури (послідовного і паралельно-послідовного типів) перетворювача циклічних кодів Хемінга, що містять групу циклічно суміжних одиниць. Для циклічних кодових слів з відстанню Хемінга 1 відносно еталонного слова, яке складається з одиниць (відповідно з нулів), реалізація послідовної структури на базі операцій NOR, AND та OR для перетворення циклічних кодів потребує ($r_1 = (m-1)$) рівнів, а паралельно-послідовна ($r_2 = \log_2 n$) рівнів.

На основі запропонованих структур реалізовано нейроподібну мережу Хемінга, яка розпізнає вхідний двійковий вектор шляхом визначення його міри близькості до заданих векторів-шаблонів й записує (разом зі значенням відстанні Хемінга) у відповідну область пам’яті результати.

Розділ 4 присвячений розв’язанню важливої науково-практичної проблеми управління ІТ-інфраструктурою. Ефективне використання ІТ-інфраструктури залежить від її керованості. ІТ-інфраструктура, як основа інформаційного суспільства, перетворилася у важливий об’єкт управління, розміри, структура і особливості функціонування якого ускладнюють проблеми управління ним. Складність ІТ-інфраструктури і багатоаспектність діяльності провайдерів обумовлюють побудову систем управління на основі процесно-функціональної, структурно-організаційної і ресурсної концепцій управління. Будова і функціонування сучасних систем управління ІТ-інфраструктурою (СУІ) базуються на виділенні:

- ІТ-інфраструктури як об’єкта управління, що забезпечує надання ІКС;
- процесів, які задіюють ІТ-інфраструктуру і підтримують діяльність як основу бізнесу, уможливлуючи отримувати прибуток за рахунок надання ІКС;
- організації (організаційна структура, активи, персонал, ресурси), яка перетворює потенційні можливості в реальні результати, забезпечуючи визначення, планування, здійснення і підтримку процесів.

Впровадження процесного підходу уможливлує побудову ефективної СУІ об’єднанням сторонніх і власних розробок за умови, що розробники програмного забезпечення, постачальники обладнання і системні інтегратори узгодять погляди на визначення і описання структури бізнес-процесів. Загалом вимоги до процесного управління визначають: прозорість; перспективність бізнесу і технологій; контрольованість бізнесу і операцій; єдину архітектуру ІТ-систем;

капіталізацію; документованість бізнес-процесів; відповідність міжнародним стандартам.

Це стимулює розробників створювати повнофункціональні рішення для СУІ. Але для цього потрібно розробити цілісну методологію управління ІТ-інфраструктурою. З цією метою розроблена методологія управління ІТ-інфраструктурою, орієнтована на створення єдиного універсального середовища інтегрованого управління різноманітними ІТ, розподіленими застосуваннями, ресурсами і мережним обладнанням.

Базовим для зазначеної методології є декомпозиційно-компенсаційний спосіб організації управління рівнем послуг, заснований на декомпозиції задач управління і компенсації негативного впливу окремих чинників за рахунок виділення додаткових ресурсів критичним застосуванням. Його загальна схема включає етапи: комплексного аналізу співвідношення рівень обслуговування/вартість; визначення і обґрунтування інтегрального рівня обслуговування на основі можливих втрат внаслідок незадовільного рівня обслуговування і його витрат на надання сервісів з визначеним рівнем з урахуванням ризиків; аналізу залежності інтегрального показника рівня обслуговування від базових; декомпозиції проблеми визначення мінімальної вартості досягнення рівня обслуговування на підпроблеми компенсаційного визначення цієї вартості на підмережах, сервісах, ресурсах і технологіях; обліку і контролю дотримання визначених параметрів.

Обґрунтовано доцільність побудови багаторівневих СУІ з використанням універсальної компоненти – дворівневої системи управління з координатором. Розроблено принципи координації, запропоновано відповідні методики синтезу.

Реалізація декомпозиційно-компенсаційного підходу базується на комплексі сервісно-ресурсних моделей. Авторами розроблена методика створення сервісно-ресурсних моделей на основі системної методології в рамках визначеного процесу управління ІТ-інфраструктурою.

Для цього розроблені математичні моделі, методи і відповідні алгоритми для підтримки усіх груп процесів управління (управління інфраструктурою, підтримки обслуговування; управління наданням послуг). Але у розділі 4 розглядаються лише моделі і методи для: розподілу ресурсів і навантаження; імпаکت-аналізу; управління потоками в мережах; зведення метрик ІТ-інфраструктури і її складових.

Для створення СУІ розроблена технологія управління ІТ-інфраструктурою, архітектура інструментальних засобів якої побудована на принципах трирівневої клієнт-серверної технології із застосуванням агентського підходу. Технологія реалізована на платформі швидкої розробки і експлуатації застосувань SmartBase і забезпечує процеси моніторингу, аналізу, управління, оптимізації та планування.

У розділі 5 розроблені моделі, архітектурних рішень та програмної реалізації організації ефективної мережної взаємодії в розподіленому середовищі, зокрема надання сервісів за моделлю PaaS хмарному провайдеру.

Технологія спільної роботи ґрунтується на спеціальному ПЗ та середовищі взаємодії для спільного розв'язання задач, моделях дистанційного співробітництва, які дозволяють одночасно використовувати і маніпулювати мультимедійною інформацією в реальному часі і на різних рівнях модальності.

Запропонована модель структурування колаборативного середовища з виділенням рівнів сеансів, користувачів, ресурсів, засобів керування ресурсами. Для дослідження системи на наявність властивостей безпеки та відсутності (наявності) тупиковості використано модель МП.

Запропоновано алгоритм визначення зупинки розподіленої асинхронної системи та доведена його коректність. Для розв'язання задач розподілу ресурсів, зв'язку, консенсусу розподілених процесів, контролю паралелізму в базах даних, виявлення вузьких місць та інших запропоновано евристичний алгоритм розпізнання ізоморфізму графів, який можна віднести до класу алгоритмів, що використовують їх локальні характеристичні інваріанти.

Для забезпечення паралельної співпраці між великою кількістю активних сутностей, які складають єдине застосування, розроблено і впроваджено ряд координаційних моделей і мов, що їх підтримують.

Зростання складності програмних продуктів одночасно зі зменшенням часу на розробку та підвищенням вимог до якості вимагає нових спеціалізованих мов та технологій, які краще відображають концепції та поняття специфічних доменів. В моделі-орієнтованій розробці (MDD) саме доменно-залежна мова моделювання (DSML, domain specific modeling language) дозволяє компактно формалізувати модель тієї чи іншої частини реального домену, суттєво зменшуючи когнітивну відстань між абстрактною моделлю задачі та її програмною реалізацією. При цьому трансформація моделі відіграє ключову роль, відповідаючи за перетворення визначених за допомогою DSML моделей в інші програмні артефакти та форми представлення. Запропоновано варіант полегшеної інфраструктури для моделі-орієнтованої розробки. Ідея полягає у поверненні до представлення моделі у вигляді предметно-орієнтованого XML-формату. Тому зберігається можливість швидко змінювати та розширювати метамодель, а для моделей в такій формі зображення немає необхідності застосовувати спеціалізовані інструменти-візуалізатори для перегляду та редагування (ця властивість набуває першочергового значення у випадках, коли доменна метамодель динамічно змінюється у процесі розробки). Важливим засобом стають генетичні алгоритми, які успішно використовуються для розв'язання задач аналізу розподілених програмних систем з високою завантаженістю.

Для надання сервісу високопродуктивних обчислень HPaaS хмарному провайдеру потрібно розгорнути і підтримувати (або частково орендувати) достатній набір обчислювальних засобів, систем збереження даних і мережевого обладнання, а також володіти інструментальним комплексом підготовки і управління розв'язанням задач, що вимагають значних обчислювальних ресурсів.

У **розділі 6** розглядаються різні способи створення ІТ-інфраструктури. Одним з них є метод інваріантності властивостей базової моделі. Справа в тому, що створення сервісів пов'язане з конче важливим феноменом: сервіси між собою можуть конфліктувати. Для того, щоб знайти і усунути причини конфліктів і їх ініціаторів, ІТ-інфраструктура моделюється МП і відсутність конфлікту між існуючими і доданими сервісами полягає у збереженні всіх властивостей базової моделі у новій моделі. Це означає, що конфліктів, які приводять до взаємного блокування, чи блокування одним сервісом роботи іншого, не відбуватиметься в такій системі. Типовим прикладом, в якому цей феномен проявляє себе сповна, є

системи телекомунікації та системи обробки баз даних. На цих системах і демонструється цей підхід до аналізу та ідентифікації такого типу властивостей.

Детально розглядаються практичні аспекти проектування систем електронного урядування на прикладі систем управління персоналом у державних органах України. Основним у запропонованому підході є використання інструментарію високорівневого опису об'єктів баз даних базовими інструментами СУБД. Такий підхід дозволяє в межах однієї схеми бази даних (предметної області) мати декілька параметризованих описів об'єктів.

Проведені дослідження визначили основні етапи проектування об'єктно-орієнтованих баз даних. Переваги запропонованого підходу наступні: об'єкти предметної області визначаються через опис бази даних; інструментарій опису об'єктної моделі забезпечує верифікацію опису в цілому; інтерфейсний рівень абстракції забезпечує перехід до програмування об'єктів нижнього рівня – класів мов програмування, які реалізують задекларовану функціональність (поведінку) об'єктів. Запропонована методика та інструментарій побудови об'єктно-орієнтованих баз даних використано при розробці низки проектних рішень управління персоналом у державних органах України.

Головним результатом роботи є формування цілісної науково обґрунтованої методології підтримки процесів проектування, управління і використання ІТ-інфраструктури та експериментальна перевірка її працездатності шляхом розробки і впровадження технологій проектування та управління ІТ-інфраструктурою, надання різноманітних сервісів на її основі – програмних, високопродуктивних обчислень та інструментів розробки.

Кількість публікацій за темою роботи – 643. З них монографій – 29; підручників – 9; навчальних посібників – 21.

Загальна кількість реферованих публікацій:

- 132 (згідно бази даних SCOPUS);
- 1580 (згідно бази даних Google Scholar);

Загальна кількість посилань на публікації авторів:

- 186 (згідно бази даних SCOPUS);
- 1600 (згідно бази даних Google Scholar);

Новизну та конкурентоспроможність технічних рішень захищено 16 свідоцтвами про реєстрацію авторського права на твір та 8 патентами. За цією тематикою захищено 7 докторських та 26 кандидатських дисертацій.

Автори:

Погорілий С.Д.	_____
Теленик С.Ф.	_____
Кривий С.Л.	_____
Глибовець М.М.	_____
Ролік О.І.	_____
Опанасенко В.М.	_____
Волохов В.М.	_____
Бойко Ю.В.	_____