

Тернопіль, 1999. 5. V.M.Fitio, L.I.Muravsky, A.I.Stefansky. *Using of random phase masks for image recognition in optical correlators // Proc. SPIE, 1995. Vol. 2647. P.224-234.* 6. Дж. Гудмен. *Статистическая оптика, М., 1988.*

УДК 683.1

*А.М.Пелецишин*

*НУ "Львівська політехніка", кафедра інформаційних систем та мереж*

## **МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ОПТИМІЗАЦІЇ WEB-СИСТЕМ**

© А.М.Пелецишин, 2000

**This paper considers Web-system optimization problems. We propose some approaches to solve these problems based on coordination theory methods (e.g. coordination agreement template).**

Традиційно у системному аналізі та проектуванні інформаційна система описується як взаємодія трьох структур:

- інформаційної структури;
- функціональної структури;
- топологічної структури.

Моделювання Web-систем передбачає створення моделі кожної зі структур та моделей їхньої взаємодії.

Для моделювання структур інформаційної системи сьогодні використовуються спеціальні засоби діаграмного та описового типу і методології їхнього застосування (зокрема структурні методології). Ці засоби набули широкого використання у CASE-системах та системах швидкого розроблення (RAD-системах).

Діаграмні та описові засоби використовуються як при аналізі, так і при проектуванні інформаційних систем. Оптимізація системи здійснюється перевіркою моделі системи на відповідність певним стандартам та положенням (наприклад, перевіркою інформаційної структури на нормалізованість). Крім того, в модель вводяться додаткові параметри, що дає можливість застосувати певні математичні методи, зокрема методи дослідження операцій та теорії оптимізації.

Методи оптимізації насамперед використовуються для покращання функціональної та топологічної структури інформаційної системи та їх взаємодії з інформаційною структурою. Метою такої оптимізації можуть бути, наприклад, скорочення часу виконання завдання, зменшення вартості мережевого та апаратного забезпечення, оптимізація розміщення даних у мережі системи.

Усі задачі моделювання та оптимізації актуальні і для Web-систем. При їхньому розв'язанні доцільно використовувати ті ж методи, що при моделюванні та оптимізації

традиційних інформаційних систем. Проте, враховуючи особливості Web-систем, визначимо певні труднощі, що виникають при розв'язанні задач їхнього моделювання та оптимізації на основі традиційних підходів.

- Виникають складнощі при формальному структурованому описі моделі даних Web-системи. Основною їхньою причиною є багатоваріантність типів структурованих даних у Web-системах (таблиці баз даних, статичні гіпертекстові документи, набори однотипних документів та вузлів тощо).
- Оптимізація ускладнюється тією обставиною, що Web-система може не мати єдиного власника, і, як наслідок, єдиної цілі та оцінки ефективності функціонування.
- Оптимізація мережевої структури ускладнюється глобальним характером Web-систем.

Далі досліджено основні підходи до моделювання Web-систем засобами, традиційними для структурних методологій, та оптимізація Web-систем. При дослідженні проблем оптимізації Web-системи використовуватимемо побудовану у роботі [11] формальну модель Web-системи. Зокрема:

- при застосуванні методів теорії координації використовується ієрархічна структура Web-системи (ієрархія у координаційній задачі збігається з ієрархією, що виникає внаслідок застосування операцій над Web-системами);
- для переходу від існуючої моделі Web-системи до моделі, що оптимізується, використовуються операції над Web-системами першого типу;
- при побудові цільових функцій оптимізаційних задач використовуються множини запитів, станів, виходів та розподіл імовірностей, що міститься у моделі Web-системи.

### **Особливості оптимізації Web-систем**

Загальні принципи оптимізації інформаційних систем є застосовними до розв'язання задач оптимізації Web-систем. Оптимізація інформаційних систем у загальному випадку зводиться до виконання наступних кроків.

1. Визначення критерію оптимізації (наприклад, час виконання операції).
2. Визначення базових характеристик системи та відповідної цільової функції (як формального відображення критерію оптимізації).
3. Визначення обмежень на структуру системи та відповідних обмежень на оптимізаційну задачу.
4. Розв'язання отриманої задачі відповідними методами (математичне програмування, методи теорії графів, евристичні методи тощо).

Web-система у загальному випадку є багаторівневою ієрархічною системою, кожна з компонент якої може мати автономну поведінку та власні цілі функціонування. На практиці це означає, що компоненти Web-системи мають різних власників і є автономними Web-системами. Як наслідок, при оптимізації Web-систем перераховані вище етапи мають певну специфіку.

Перший етап ускладнюється тим, що Web-система загалом і кожна з її компонент має власну мету функціонування та окремого власника. Як наслідок, для кожної з компоненти може розглядатися своя власна мета функціонування та критерій оптимізації (наприклад, власник першої компоненти зацікавлений у мінімізації мережевого трафіку, власник другої — у мінімізації часу виконання запиту).

На другому етапі здійснюється визначення базових характеристик як для Web-системи загалом, так і для кожної компоненти Web-системи зокрема. Відповідно, для кожної компоненти Web-системи визначається окрема цільова функція. Крім цільових функцій, може також визначатися міжрівнева функція взаємодії та уявна цільова функція Web-системи. Формування єдиної цільової функції Web-системи теоретично можливе, але ускладнене такими обставинами:

- єдина цільова функція матиме дуже складний вигляд;
- усі компоненти (і верхній рівень) Web-системи можуть просто не знати правил функціонування, і, як наслідок, цільових функцій одна одної;
- поведінка деяких компонент Web-системи (або її верхнього рівня) може не мати аналітичного представлення.

На третьому етапі визначаються обмеження як для кожної компоненти зокрема, так і для всієї системи загалом.

На четвертому етапі розв'язання задачі (як оптимізаційної) ускладнене наявністю багатьох цільових функцій. Враховуючи ієрархічну структуру Web-системи, для забезпечення функціонування доцільно розглядати у загальному випадку задачу координації Web-системи. Проте у простих випадках (зокрема неієрархічних Web-систем або Web-систем, компоненти яких не мають власних оптимізаційних задач) доцільно обмежуватися методами теорії оптимізації.

До факторів, що ускладнюють розв'язання координаційної задачі у загальному випадку, належать такі :

- Web-система верхнього рівня може не мати достатньо параметрів координації (не мати достатньо засобів впливу на Web-системи нижчих рівнів);
- Компоненти можуть мати різні критерії оптимізації;
- Міжрівнева функція взаємодії може не існувати, або бути немонотонною (як результат недосконалого проекту Web-системи, визначення різних цілей оптимізації тощо).

### Дослідження напрямків оптимізації Web-систем

Розглянемо детальніше можливі напрямки оптимізації Web-систем. Web-системи базуються на технологіях, що використовують верхні рівні багаторівневої моделі протоколів розподілених інформаційних систем. Тому в межах власне Web-систем можуть розглядатися лише ті задачі оптимізації, що є характерними для високорівневого моделювання РІС, і не є розв'язані на нижчих шарах. Розгляд низькорівневих проблем (наприклад, оптимізації маршрутизації пакетів) є невластивим для Web-систем.

Різними авторами розглядалися такі напрямки оптимізації інформаційних систем:

- оптимізація топологічної структури інформаційної системи. Полягає в мінімізації вартості мережевого обладнання та витрат на кабельні структури. Ця задача є універсальною для всіх розподілених інформаційних систем і тому розглядати її власне для Web-систем недоцільно;
- оптимізація розміщення даних та обчислень у мережі системи. Фактично це задача оптимізації співвідношення функціональної та інформаційної структури системи з топологічною. Ця задача є актуальною для Web-систем через їхній розподілений характер. Враховуючи те, що Web-системи приховують фізичні принципи реалізації, відзначимо, що задача оптимізації розміщення даних та обчислень модифікується у задачу оптимізації розміщення підтримки запитів у Web-системі;
- оптимізація реплікації даних. Є спеціальним випадком попередньої задачі. Для Web-систем модифікується у задачу оптимізації реплікації підтримки запитів;
- мінімізація часу виконання завдання. Для Web-систем така задача розв'язується при уже заданих мережевих та апаратних характеристиках системи. Отже, єдиним шляхом мінімізації часу виконання запиту є оптимізація розміщення даних та обчислень. Як цільова функція вибирається час виконання запиту;
- мінімізація мережевого трафіку. Аналогічно до попереднього випадку задача зводиться до задачі оптимізації розміщення даних та обчислень у Web-системі. Цільова функція — об'єм трафіку у мережі;
- максимальне задоволення вимог користувачів, доступність інформації, зручність інтерфейсу системи.

Усі перераховані вище (й інші можливі також) напрямки оптимізації Web-систем обмежені у засобах досягнення оптимальних рішень унаслідок того, що Web-системи будуються на вже визначеній інфраструктурі.

Головним інструментом оптимізації Web-систем залишається модифікація розміщення даних та обчислень у Web-системі. Використання інших засобів можливе лише при комплексній оптимізації системи, включно з оптимізацією мережевих і апаратних рішень, які відповідають нижнім рівням протоколів взаємодії відкритих систем. Обмеження засобів оптимізації Web-систем залишає можливість оптимізувати Web-

системи за різними критеріями (час виконання запиту, мінімізації запиту, мінімізація трафіку тощо).

Виділимо такі базові напрямки оптимізації Web-систем:

- мінімізація мережевого трафіку Web-системи (у модифікованому вигляді — задача мінімізації витрат на підтримку трафіку);
- мінімізація витрат на апаратне забезпечення, адміністрування та розроблення Web-системи;
- вдосконалення інтерфейсу Web-систем (у модифікованому вигляді — максимізація числа звернень до Web-системи) — фактично є цілим сімейством напрямків залежно від характеру користувачів та їх звернень.

Проте перед оптимізацією Web-систем можуть ставитися й інші цілі. Такі цілі розглядатимемо як синтетичні стосовно базових напрямків. Цільова функція та області допустимих значень математичної моделі синтетичного напрямку агрегують у собі базові напрямки. Серед синтетичних напрямків оптимізації виділимо такі:

- мінімізація часу виконання запиту (отримують як агреговану задачу мінімізації трафіку та апаратного забезпечення);
- мінімізація вартості web-систем (отримують як агреговану задачу мінімізації витрат на підтримку мережі та витрат на апаратне забезпечення);
- оптимізація реплікації даних (отримують як агреговану задачу мінімізації трафіку та апаратного забезпечення);
- максимізація ефективності інтерфейсу web-системи (отримують як агрегацію різних видів задач із оптимізації числа звернень користувачів).

Опис Web-системи із урахуванням напрямку оптимізації здійснюється виділенням в моделі спеціальних параметрів та спеціального визначення множин  $Q$ ,  $St$ ,  $A$ .

Виділимо такі види спеціальних параметрів.

- топологічні параметри — описують топологічні аспекти функціонування Web-системи: координати розміщення масивів даних, координати виникнення запитів тощо;
- вагові параметри — описують вагові характеристики запитів та масивів даних (наприклад об'єми даних у параметрах запиту). Вагові параметри можуть явно не відображатись. У такому разі “вага” запиту або стану визначається з інших параметрів;
- параметри обмежень та допуску — визначають режими функціонування, допустимі для Web-системи. До таких параметрів належать параметри максимальної пропускної здатності мережі, максимального об'єму даних тощо.

Топологічні параметри визначаються як вектор  $(x_i)_{i=1}^{N_{Tp}}$  координат, що ідентифікують розташування об'єкта в топологічній структурі Web-системи. Ці координати можуть бути просторовими, географічними (довгота та широта) тощо. Ефективним способом побудови системи координат є відображення в ній топологічної структури Web-системи. Опис такої структури здійснюється в термінах "розташування" (location) та "з'єднання" (connection) спеціальними засобами типу діаграм "розташування-з'єднання" та ієрархії розташувань.

Вагові параметри використовуються при моделюванні фізичних аспектів функціонування Web-системи так: з моделі усуваються ті параметри, значення яких не відіграють ролі при дослідженні фізичних характеристик Web-системи, а замість них у модель вводяться агреговані вагові параметри. Приклади вагових параметрів: об'єм запиту в байтах, кількість записів у таблиці тощо.

Параметри обмежень та допуску використовуються для визначення допустимих фізичних характеристик певних елементів системи. Приклади таких параметрів: пропускна здатність мережі, обмеження зовнішньої пам'яті, обмеження продуктивності апаратних серверів системи.

Виділення спеціальних топологічних параметрів в моделі Web-системи є достатнім для опису її фізичної структури. Проте для її оптимізації потрібно визначити множини запитів та станів таким чином, щоб у них відображався основний напрямок оптимізації. Перехід від загальної моделі оптимізації Web-системи до моделі, придатної до оптимізації, здійснюється послідовним застосуванням операцій із зміни внутрішньої структури Web-системи[11].

### Координація Web-систем

Координація Web-систем має місце у багаторівневих Web-системах, де кожна з компонент має власну мету існування та цільову функцію. Крім того, Web-системи верхнього рівня мають засоби впливу (координаційні параметри) на інформаційну, функціональну, топологічну структури Web-систем нижчих рівнів.

#### *Структура координаційної задачі*

Розглянемо загальну структуру задачі координації Web-системи.

Як цільова функція багаторівневої Web-системи розглядається цільова функція Web-системи верхнього рівня. Цільова функція Web-системи загалом та цільові функції компонент мають описану вище структуру.

У загальному випадку Web-система може мати багаторівневу структуру (більше від двох рівнів), проте, розглядаючи задачі координації, зосередимо свою увагу на системах із двох рівнів (аналогічно до робіт [10], [5]).

Основною задачею координації Web-системи залишається оптимізація структур компонент — визначення розміщення інформаційних ресурсів та функцій їхнього оброблення у компонентах Web-системи. У моделі Web-системи таке розміщення відповідає розміщенню запитів між компонентами системи. Для опису правил такого



розміщення введемо спеціальні множини, елементи яких можуть мати одне з двох значень: 1 — якщо запит розміщується на компоненті, і 0 — якщо запит не розміщується на компоненті.

Розв'язок координаційної задачі — множина розміщень ресурсів між компонентами — описується множиною  $X = \{x_{ij} \mid x_{ij} \in \{0,1\}\}_{i=1, j=1}^{i=N_Q, j=N_{Part}}$ .

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Located}(Q_i, Ws_j) \\ 0, & \text{not Located}(Q_i, Ws_j) \end{cases}, \quad (1)$$

де  $\text{Located}(Q_i, Ws_j)$  — предикат, що вказує, чи розміщений запит  $Q_i$  на компоненті  $Ws_j$ .

Розв'язки локальних задач також описуються аналогічними множинами  $\tilde{X}_j = \{\tilde{x}_{ij}\}_{i=1}^{N_Q}$ . При отриманні глобального розв'язку координаційної задачі розв'язки локальних задач повинні узгоджуватися із розв'язком глобальної задачі та між собою. Проте при незалежному розв'язуванні локальних задач в ітеративному процесі координації Web-системи (наприклад, при використанні принципу розв'язування взаємодії [10]) локальні розв'язки можуть між собою не узгоджуватися. Узгодження локальних розв'язків між собою є головним критерієм досягнення мети координації багаторівневої Web-системи. Так, принцип розв'язування взаємодії безпосередньо вимагає виконання цього критерію. Принцип прогнозування взаємодії (враховуючи, що прогнозується поведінка компонент Web-системи) також базується на цьому критерії.

Розглянемо структуру обмежень на розв'язки глобальної задачі.

Нехай  $\{Ws_j\}$  — множина компонент Web-системи  $Ws$ .

Тоді основну частину глобальних обмежень на можливі розв'язки координаційної задачі становлять обмеження типу:

$$\sum_j x_{ij} \geq b_i, \quad (2)$$

де  $b_i$  — нижнє допустиме число розміщень певного ресурсу у компонентах Web-системи та обмеження на фіксоване розміщення певних ресурсів у Web-системі:

$$x_{ij} = 1 \quad (3)$$

для деяких  $x_{ij}$ .

Обмеження на глобальну задачу відіграють важливу роль у формулюванні задачі координації Web-системи. Глобальні обмеження реалізують один з механізмів взаємодії компонент між собою. У багатьох випадках цей механізм виявляється єдиним.

Наявність глобальних обмежень значно ускладнює координаційну задачу. Для її розв'язання ітеративними методами потрібно використовувати методи й алгоритми, що передбачають наявність таких обмежень (аналогічні до описаних в роботі [5]). Для використання методів, базованих на таких загальних принципах, як принципи

прогнозування або розв'язання взаємодії, потрібно побудувати модель Web-системи, де взаємодія між компонентами включала би й взаємодію через глобальні обмеження. У такому разі глобальні обмеження будуть узгоджені [10] і не перешкоджатимуть процесу координації.

Загальна схема цієї взаємодії наступна.

Глобальні обмеження реплікуються для кожної компоненти Web-системи як локальні. Значення зовнішніх змінних  $x_{ij}$  стосовно кожної компоненти (для компоненти з номером  $j^*$  зовнішніми будуть змінні —  $\{x_{ij} \mid j \neq j^*\}$ ) розглядаються як параметри координації, значення яких прогнозується верхнім рівнем Web-системи.

На практиці підтримання глобальних обмежень (чи їх безпосередньо перевіркою, чи їхньою реплікацією між компонентами) обмежене недостатнім організаційним впливом верхнього рівня Web-системи на її компоненти. Реально глобальні обмеження можуть дотримуватися лише якщо уся Web-система має єдиного власника або власники їх компонент укладають між собою відповідну угоду про співпрацю. Крім того, існують спеціальні випадки, у яких глобальні обмеження виконуються автоматично, внаслідок спеціальних властивостей компонент. Один із таких випадків буде розглянуто далі.

Попри термінологічні відмінності між підходами, що безпосередньо враховують глобальні обмеження, і підходами, що узгоджують обмеження зі внутрішньою взаємодією, обидві результуючі задачі будуть еквівалентними.

### *Координуючі впливи Web-системи верхнього рівня*

Методи впливу на Web-системи нижчих рівнів поділяються на дві категорії.

- Консультативні. Web-система верхнього рівня передає Web-системам нижчого рівня певну інформацію консультативного характеру, яка використовується для оптимізації компонент. Найчастіше — це прогноз поведінки Web-системи та її компонент. Такий вплив є характерним для ієрархічних Web-систем, що функціонують у глобальних мережах та не мають єдиного власника.
- Розпорядні. Web-система верхнього рівня передає компонентам розпорядження, що обов'язково повинні бути виконані. Проте у Web-систем нижнього рівня залишається певна свобода. Ця свобода відображається у можливості локальної оптимізації Web-системи. Такий вплив є характерним для ієрархічних Web-систем, що мають єдиного власника, проте занадто складні для побудови єдиної оптимізаційної задачі. Це, переважно, великі багатофункціональні Intranet-системи.

У деяких випадках можливе одночасне використання впливів обох типів.

Залежно від категорії впливів, що використовуються Web-системою верхніх рівнів для керування Web-системами нижніх рівнів, отримуються задачі, координація яких здійснюється за різними принципами. Проте загальний процес координації залишається незмінним (описаний, зокрема, в роботі [5]). Так, для координації ієрархічних систем з консультативним впливом слід використовувати принцип прогнозування взаємодії.



### *Формування цільових функцій Web-системи, параметрів координації та функцій міжрівневої взаємодії*

Визначення цільових функцій є головним етапом побудови координаційної задачі для Web-системи. Саме від визначення функцій мети та їхньої можливої модифікації залежить координованість Web-системи та її спеціальні властивості (наприклад, монотонність). Визначення функції міжрівневої взаємодії, що відображає безпосередній зв'язок між затратами Web-системи загалом та її компонентами, є важливим елементом формулювання задачі координації. Дослідження властивостей міжрівневої функції дозволяє визначити спеціальні властивості Web-системи. Монотонність міжрівневої функції забезпечує координованість системи (якщо не виникає колізій, пов'язаних з областями допустимих значень у локальних оптимізаційних задачах [10]).

Залежно від методів побудови Web-системи існують різні способи формування цільових функцій. Розглянемо наступні випадки.

- Проектування та розроблення Web-системи у цілому є єдиним процесом і передбачає спільний облік витрат Web-системи. У такому разі функція міжрівневої взаємодії Web-системи породжується так:

$$Cost(W_s) = \sum_j W_j Cost(W_{s_j}), \quad (4)$$

де  $W_j$  — вагові коефіцієнти, що має зацікавлення верхнього рівня в оптимізації  $j$ -ї компоненти.

- Web-система будується з уже створених компонент зі своїми інтересами і має верхній рівень з виділеними інтересами. Такий випадок є найбільш загальним і найскладнішим для координації. Структура цільової функції Web-системи загалом може бути довільною, проте часто вона має адитивний характер, аналогічний до попереднього випадку.
- Web-система будується з компонент, що не мають своїх інтересів, і має свої інтереси. Локальні цільові функції формуються на основі глобальної цільової функції. Методи формування локальних цільових функцій описані в роботі [10].
- Web-система будується з уже створених компонент зі своїми інтересами і не має власних інтересів. Глобальна цільова функція формується як зважена сума локальних функцій якості.

Розглянемо структуру локальних задач оптимізації компонент та способи використання координаційних параметрів у них. Виділимо наступні класи локальних оптимізаційних задач.

- Локальна оптимізаційна задача є задачею векторної оптимізації. Координаційні параметри використовуються для згортки векторної задачі у скалярну.

- Цільова функція локальної оптимізаційної задачі залежить від координаційних параметрів через вартість виконання запиту.
- Цільова функція локальної оптимізаційної задачі залежить від параметрів через розподіл імовірності надходження кожного запиту.
- Параметри визначають області допустимих значень розв'язків локальної задачі.

### *Координованість Web-системи*

Координованість Web-системи визначається спеціальними властивостями глобальної та локальної цільових функцій Web-системи. Залежно від того, який принцип лежить в основі координації Web-системи (розв'язання взаємодії чи прогнозування взаємодії), до цільових функцій ставляться різні вимоги. Координованість Web-системи на основі принципу розв'язання взаємодії вимагає безумовної міжрівневої узгодженості цільових функцій локальних задач. Координованість Web-системи при використанні принципу прогнозування вимагає жорсткішої умови — обмеженої міжрівневої узгодженості цільових функцій.

Сьогодні у глобальних Web-системах, що не мають єдиного власника, реальним є використання лише принципу прогнозування взаємодії, коли координуючий центр здійснює консультативний вплив на компоненти. Очевидно, що в загальному випадку Web-система не матиме обмеженої міжрівневої узгодженості, тобто між компонентами Web-системи можуть виникати конфлікти інтересів. Усунути такі конфлікти можна, укладаючи договори про співпрацю та делегуючи певні повноваження верхньому рівню.

Координованість Web-системи за принципом розв'язання взаємодії вимагає слабшої умови. Проте сам принцип передбачає розпорядчий вплив верхнього рівня Web-системи на її компоненти. Такий вплив сьогодні можливий лише у системах класу Intranet та глобальних Web-системах, що мають верхній рівень із широкими повноваженнями.

У деяких випадках Web-система може не мати властивостей міжрівневої обмеженої або безумовної узгодженості, проте володіти властивостями локальної обмеженої або безумовної узгодженості. У такому разі ми маємо міжрівневий конфлікт інтересів, який виникає внаслідок поганого визначення цільової функції верхнього рівня, яка не враховує інтереси компонент Web-системи. Природним розв'язком такої ситуації є перевизначення глобальної цільової функції. Важливою характеристикою Web-системи є її монотонність. Вона вказує на повноцінне врахування інтересів компонент Web-системи на її верхньому рівні. Крім того, властивість монотонності можна використовувати для дослідження координованості Web-системи [10].

У загальному випадку для досягнення обмеженої міжрівневої узгодженості компонентам Web-системи потрібно делегувати певні повноваження верхньому рівню. Одним з можливих шляхів такого перерозподілу є укладання спеціального договору. Загалом договір повинен передбачати виконання таких дій.

- Декларується створення верхнього рівня Web-системи. Компоненти Web-системи беруть участь у формуванні цільових функцій глобальної задачі оптимізації. Ця

цільова функція має адитивний характер.

- Web-системи нижнього рівня декларують свої оптимізаційні задачі, зокрема вигляд цільових функцій.
- Визначаються параметри координації та принципи їхнього формування.
- Компоненти Web-систем узгоджують свої оптимізаційні задачі, модифікуючи локальні цільові функції. Можливими модифікаціями є модифікації з нульовими сумами. Метою такої модифікації є врахування інтересів усієї Web-системи (отже, враховуючи структуру глобальної цільової функції й інтереси компонент).
- Верхній рівень Web-системи декларує глобальні обмеження, що ставляться перед Web-системою. Компоненти Web-системи узгоджують свої локальні задачі з глобальними обмеженнями.

Крім того, договір може передбачати декларування компонентами Web-системи та її верхнім рівнем моделей їхнього функціонування. Такі моделі можуть використовуватися для спрощення процесу координації.

### *Методи координації Web-системи*

Традиційно розглядаються два основні підходи до координації ієрархічних систем — ітеративний та безітеративний. При безітеративній координації формується єдина задача оптимізації, яка враховує й інтереси Web-системи загалом, і Web-систем нижчих рівнів. Для цього потрібно побудувати єдину цільову функцію Web-системи, оптимізація якої на множині допустимих значень дала б розв'язок, що задовольняв би усі компоненти Web-системи. Формування такої функції здійснюється на основі визначеної цільової функції верхнього рівня (або глобальних обмежень) з врахуванням множин Парето локальних задач оптимізації, в яких параметри розглядаються як додаткові змінні [5]. Безітеративний підхід до координації ускладнюється такими чинниками:

- опис множин Парето локальних задач в аналітичному вигляді (отже, і їх використання для формування єдиної цільової функції або глобальних обмежень) є досить складним;
- правила генерації параметрів координації верхнім рівнем Web-системи можуть не мати аналітичного представлення.
- Побудована оптимізаційна задача може бути надто складною для розв'язання.

У загальному випадку доцільно використовувати ітеративний підхід до координації Web-систем. Проте існують деякі особливості його застосування для Web-систем. Координаційні параметри можуть бути отримані від верхнього рівня по-різному:

- безпосередньо передаватися від верхнього рівня компонентам;
- генеруватися компонентами Web-системи на основі відомої їм моделі верхнього рівня;

генеруватися компонентами Web-системи на основі їх моніторингу поведінки верхнього рівня Web-системи.

У другому та частково у першому випадку задача координації розв'язується ітеративно, проте сам процес координації може відбуватися ще перед початком побудови Web-системи. Такий підхід можливий у випадку, коли уся Web-система має єдиного власника або договір про створення Web-системи передбачає опис моделі верхнього рівня Web-системи. Попередня координація Web-системи дозволяє уникати витрат на перепроєктування та переробку компонент та усунути проміжки неефективного функціонування Web-системи.

У складніших випадках компоненти Web-системи можуть не знати про правила генерації координаційних параметрів (перший спосіб отримання координаційних параметрів) або взагалі самі їх генерувати на основі моніторингу дій верхнього рівня (третій спосіб — найпоширеніший сьогодні). Такі випадки мають місце у глобальних системах, що не мають єдиного власника та не узгоджують свої дії. Координація таких Web-систем здійснюється лише після початку їхнього функціонування. Кожна ітерація призводить до часткового перепроєктування компонент системи й появи проміжків неефективного функціонування Web-системи. Проте сьогодні цей спосіб координації здебільшого є єдино можливим.

1. Apers P. *Data allocation in distributed database systems* // *ACM Trans. on Database Systems*, vol.13, №3, September 1988, pp.263-304. 2. Bay P., Thomasian A. *Data Allocation Heuristics for Distributed Systems* // *IEEE Transactional Software Engineering*, 1985. 3. Wolfson O., Jajodia S. *An algorithm for dynamic data allocation in distributed systems* // *Information Processing Letters*, Vol. 53, No. 2, 1995, pp. 113—119. 4. Woodside C., Tripathi S. *Optimal allocations of File Servers in a Local Network Environment* // *IEEE Transactional Software Engineering*, 1986. 5. Алиев P.A., Либерзон M.И. *Методы и алгоритмы координации в промышленных системах управления*. М.: Радио и связь, 1987. 208 с. 6. Буров Є.В., Пелецишин А.М. *Аналіз та оптимізація інформаційних потоків у сучасних internet та intranet системах* // *Вісник Державного університету "Львівська політехніка"* 1998. №330, С.27-34. 7. Буров Є.В., Пелецишин А.М. *Оптимізація розміщення даних у Web-системах* // *Вісник Державного університету "Львівська політехніка"* 1998. №330, С.17-27. 8. Васкевич Д. *Стратегии Клиент/Сервер*. 2-е издание. К.: Диалектика, 1996, 384 с. 9. Йеркса Г. *Механизмы, балансирующие нагрузку Web-узлов* // *Сети и системы связи*. 1999. №5. С.120-126. 10. Месарович М., Мако Д., Такахага Я. *Теория многоуровневых иерархических систем*. — М: Мир, 1973. 11. Пелецишин А.М., Буров Є.В. *Принципи формального моделювання інформаційних систем на базі Web-технологій*. *Вісник Державного університету "Львівська політехніка"* 1999. №383, С.178-201