

ПРО ОДИН ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ АРХІТЕКТУРИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ В ІНТРАНЕТ-СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

М.В. ТКАЧУК, Д.В. КУКЛЕНКО

Запропоновано один з можливих підходів до забезпечення ефективної обробки даних в складних, тобто багаторівневих і розподілених Інtranет-базованих інформаційно-управляючих системах. З урахуванням нових чинників, важливих при створенні таких систем, головна увага приділяється двом взаємопов'язаним проблемам: концептуальному моделюванню даних і процедурам їх інтелектуальної обробки із застосуванням механізму активних правил.

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, ДЕЯКІ ПРОБЛЕМИ ТА МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Сучасні тенденції в розробці багаторівневих та розподілених інформаційно-управляючих систем (IУС) показують швидке розповсюдження Інтернет/Інtranет, або так званих Web-технологій [1], що раніше було більш притаманно таким напрямкам їх застосування, як комп'ютеризовані системи управління на транспорті (зокрема, авіаперевезення), електронна комерція (e-Commerce) [2] та деякі інші. Зараз це стає актуальним і для традиційних сфер застосування IУС, як, наприклад, автоматизоване управління виробництвом та керування різноманітними технологічними процесами (ТП). В напрямку розробки нового покоління Web-базованих IУС в першу чергу можна назвати SCADA (*Supervisory Control Access and Data Acquisition*)-системи [3, 4]. Типова розвинена Web-SCADA-система повинна накопичувати та обробляти великі обсяги телеметричних даних: параметри ТП, повідомлення від відповідних технічних пристроїв і т. ін. Всі ці дані генеруються в реальному масштабі часу так званими програмованими логічними контролерами (*programmable logical controller-PLC*), які складають апаратну базу сучасних SCADA-систем.

Слід зазначити, що в публікаціях про SCADA-проблематику (див., наприклад, [3, 4]) досить часто не звертається достатньо уваги на те, що в багатьох випадках створення нової системи вона має бути розроблена з урахуванням існування на відповідному об'єкті автоматизації так званих успадкованих (*legacy*) програмних систем або вже накопичених ресурсів даних та діючих інформаційних інфраструктур. Відповідно, такі системи повинні інтегрувати різноманітні формати даних та надавати потім до них одночасний доступ окремим групам користувачів, які повинні мати можливість аналізувати та обробляти ці дані в реальному масштабі часу, зважаючи на вірогідність появи в процесі керування відповідним ТП критичних подій та нештатних ситуацій.

Необхідність урахування всіх цих факторів при створенні сучасних Web-SCADA-систем робить вельми актуальною проблему розробки певного

концептуального підходу та відповідних програмних інструментальних засобів для забезпечення ефективної обробки даних в таких системах, з обов'язковим урахуванням нових технологічних можливостей, що надає Web-платформа.

Розглянемо деякі підходи до вирішення цих проблем з урахуванням як існуючих сучасних тенденцій у цій сфері інформаційних технологій [5], так і на підставі власного досвіду, набутого при виконанні кількох реальних проектів та інженерної розробки відповідних Web-SCADA-систем на підприємствах нафто- та газовидобувної і газотранспортної галузей, які розташовані у Північно-Східному регіоні України [6–8] і, зокрема, для деяких об'єктів газопромислового управління (ГПУ) «Харківгазвидобування» (рис. 1). Актуальність розробки SCADA-систем саме в цій галузі визначається також виключною важливістю газовидобувної та газотранспортної системи України як безпосередньо в структурі її національного паливно-енергетичного комплексу (ПЕК), так і геополітичним положенням України, її статусом транзитної держави, що забезпечує зараз близько 90% експорту російського природного газу і потреби в ньому країн Центральної та Західної Європи. Ці обставини суттєво впливають на вирішення питань енергетичної безпеки усього Європейського регіону, особливо в контексті наслідків подій 11 вересня 2001 р. в США. Це було підкреслено на презентації українського нафтогазового комплексу на сесії комісії Європарламенту в Брюсселі 5–7 листопада 2001 р., де йшлося також і про співробітництво України та країн Європейського Союзу (ЄС) в цій сфері. Науково-технічна політика ЄС приділяє зараз досить велику увагу проблемам автоматизації та впровадженню нових інформаційних технологій в ПЕК цих країн, про що свідчить перелік напрямків науково-технічних розробок у цій сфері, опублікований на офіційному Internet-ресурсі спеціально створеної Європейської групи з досліджень у газовій промисловості.

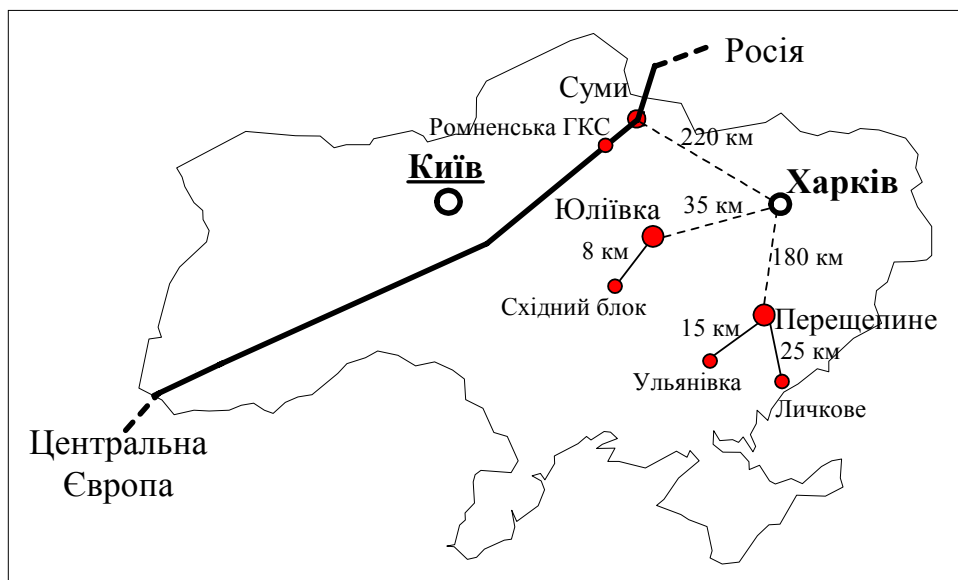


Рис. 1. Географічна схема проектів Web-SCADA-систем, розроблених групою кафебри АСУ НТУ «Харківський політехнічний інститут»

В сучасній літературі можна знайти досить багато спроб скласти той чи інший перелік властивостей Web-SCADA - систем або вимог, які мають бути виконані при їх проектуванні [2 – 4]. До них безперечно треба віднести такі: спроможність показу параметрів відповідного ТП у вигляді ергономічних схем у реальному масштабі часу та у будь-якому місці розподіленої структури ІУС; накопичення значень параметрів ТП у базі ретроспективних даних з можливістю їх агрегації на заданих інтервалах часу; побудову та аналіз ретроспективних трендів і поточних осцилограм відповідних параметрів ТП; наявність повідомлень для операторів ІУС у разі виникнення в системі критичних ситуацій; побудову усієї ІУС із застосуванням моделі обробки даних «клієнт-сервер»; наявність механізмів синхронізації даних та їх захисту на всіх рівнях розподіленої структури системи та деякі інші.

На наш погляд, всі ці різноманітні властивості (або вимоги) можуть бути агреговані (або узагальнені) відповідно в три найбільш суттєвих, так би мовити, концептуальних «супер-вимог» (*top requirements*), які формулюються нами так:

- 1) інтегроване моделювання даних на концептуальному рівні;
- 2) інтелектуальна обробка даних на рівні бізнес-логіки системи;
- 3) уніфіковані програмні рішення для розвинутої технології візуалізації даних, які обробляються в системі, на рівні їх презентації для кінцевих користувачів системи.

Нижче ми запропонуємо деякі можливі підходи та моделі, які можуть забезпечити вирішення двох перших завдань з цього переліку при створенні розподілених Web-SCADA-систем. Питання розробки та імплементації програмних сервісів і інтерфейсів для відповідної уніфікованої програмної архітектури (*reference architecture*), що забезпечує розвинену технологію візуалізації даних в таких системах, заслуговують на окремий розгляд.

СТРУКТУРНА МОДЕЛЬ ІНТЕГРАЦІЇ ДАНИХ В БАГАТОРІВНЕВІЙ РОЗПОДІЛЕНІЙ WEB-SCADA-СИСТЕМІ: КОЛЕКЦІЯ XML/DTD-СПЕЦИФІКАЦІЙ

В роботі [9] нами вже була запропонована так звана абстракція домену (*domain*), яка може бути застосована для спрощення розгляду багаторівневої логічної структури розподіленої ІУС. Її графічна інтерпретація подана на рис. 2.

В такій складній ІУС вузли *базового рівня D, E, F, G, H* являють собою апаратно-програмні комплекси, які встановлені безпосередньо на нафтогазородовищах (НГР) і там, де саме обробляються телеметричні дані від відповідних PLC-контролерів. Вузли *кущового рівня B і C* репрезентують у цій структурі так звані нафтогазопромисли (НПП), що в організаційно-технічному аспекті координують функціонування кількох НГР і відповідно до цього отримують різноманітні дані з базового рівня. Вузол *регіонального рівня A* (кореневий вузол деревоподібної структури) являє собою головний офіс усього ГПУ, де в агрегованому вигляді обробляється інформація з кількох вузлів кущового рівня. Слід зазначити, що, розглядаючи цю проблему в динамічному аспекті, треба мати на увазі можливість появи як нових вузлів

базового рівня (тобто створення нових НГР), так і вузлів вищого рівня — наприклад, коли вузол регіонального рівня буде підпорядкований деякому міжрегіональному центру і т. ін.

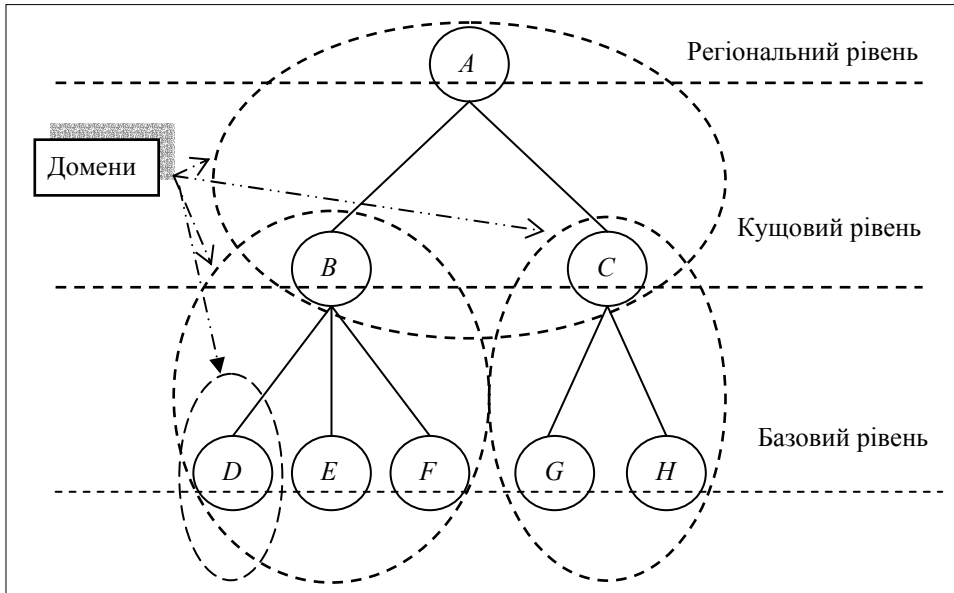


Рис. 2. Абстракція домену в структурі багаторівневої розподіленої ІУС

Саме введення абстракції домену як *будь-якої підмножини вузлів, що мають спільний кореневий вузол*, дозволяє уніфікувати розгляд усієї множини вузлів в цій складній структурі, а саме поділити їх на дві групи: 1) термінальні вузли або так звані *T-вузли* (дочірні вузли поточного домену); 2) доменні вузли або *D-вузли* (відповідно кореневі вузли кожного домену). Беручи це до уваги, моделювання даних в такій структурі повинно вирішувати дві проблеми: 1) надати можливість представити логічну ієрархію доменів в системі; 2) забезпечити адекватне представлення даних на рівнях *T*-та *D*-вузлів. Для вирішення цієї проблеми традиційно застосовується реляційна схема, яка буде задавати відповідну структуру мета-даних: *Domain* та *Parameter* (вона цілком очевидна і тому тут не наводиться). Для Web-орієнтованої обробки даних в такій системі представлення цієї ж метаінформації є більш ефективним і природним з використанням стандартів XML / DTD [5]. Тому ми пропонуємо для цього колекцію з трьох типів XML-документів, які можуть бути генеровані на підставі відповідних DTD-специфікацій, а саме: перша DTD-специфікація визначає ієрархію доменів у багаторівневій структурі, для чого використовуються такі теги (*tag*), як *<domain>*, *<domRoot>*, *<domHost>* (рис. 3, а); друга DTD-специфікація описує параметри безпосередньо окремого домену та має для цього в своїй структурі такі теги, як *<domain>*, *<param>*, *<parGroup>* (рис. 3, б), вирішуючи таким чином задачу опису *D*-вузлів.

І, нарешті, третя DTD/XML-специфікація дозволяє представити в уніфікованому вигляді структуру усіх телеметричних даних, що безпосередньо обробляються в *T*-вузлах. Фрагменти такого XML-документу, який містить телеметричні параметри (теги *<message>*, *<title>*, *<value>* та *<parameter>*), наведено на рис. 4, де також показано приклад графічного інтерфейсу користувача системи у вигляді відповідної схеми ТП.

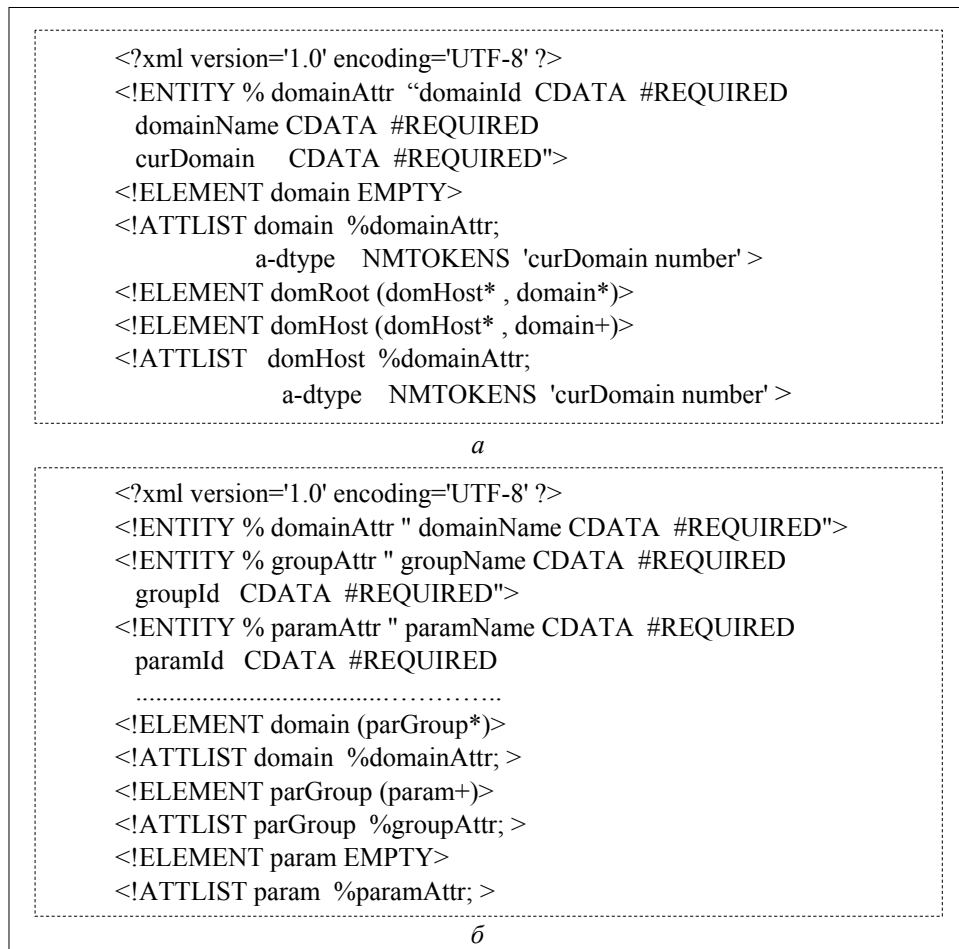


Рис. 3. DTD-специфікації для опису доменної структури розподіленої ІУС: а — логічної ієрархії доменів; б — структури параметрів окремого домену

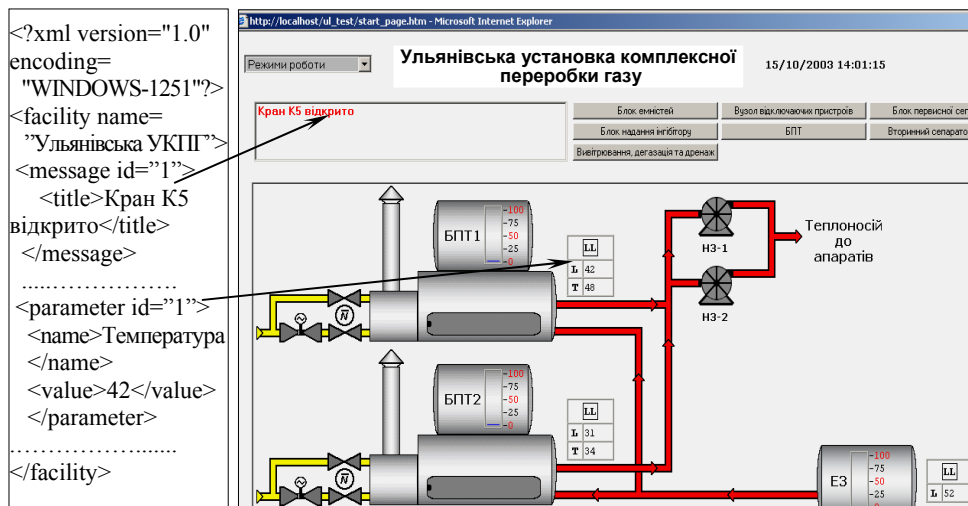


Рис. 4. XML-специфікація для опису параметрів ТП та приклад графічного інтерфейсу користувача системи

Таким чином, на підставі цих специфікацій можна коректно на концептуальному рівні та адекватно до обраної технологічної платформи описати структуру даних, що накопичуються та обробляються в розподіленій багаторівневій Web-SCADA-системі.

ПІДХІД ДО ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ АКТИВНИХ ПРАВИЛ

Окрім таких традиційних задач обробки даних, що покладаються на системи баз даних (БД), як збір даних, їх збереження та відображення результату певного SQL-запиту, SCADA-системи повинні бути здатними також вирішувати задачі інтелектуальної обробки даних (ІОД), тобто на основі вже існуючих у системі даних одержувати нові предметні знання (*domain knowledge*) про об'єкт управління.

Задачами ІОД у SCADA-системі є виявлення критичних подій у відповідному технологічному процесі (ТП), різких змін значень окремих параметрів ТП тощо. Серед існуючих напрямків щодо організації ІОД на стороні БД (таких, як використання дедуктивних систем або численних семантичних та об'єктно-орієнтованих поширень реляційної моделі даних [10]) нами був обраний підхід із застосуванням концепції *активної* БД, який дозволяє у явному вигляді описати вже відомі специфічні ситуації у ТП та поведінку системи в разі виникнення таких ситуацій, користуючись при цьому стандартними програмними засобами (зокрема, мовами SQL та XML), що підтримуються поширеними на сьогодні СУБД.

Основна ідея, закладена в теорію активних БД, полягає в тому, що системи БД одержують реактивні можливості, які реалізуються за допомогою так званих активних правил (*active rules*): алгоритмічних конструкцій, що мають структуру «Подія — Умова — Дія» (*Event — Condition — Action*), або *ЕСА-правил*. Їх використання в різноманітних системах БД були досліджені протягом останніх років [10–12], але при цьому, на наш погляд, недостатньо уваги приділялося питанням застосування *ЕСА-правил* у багаторівневих розподілених ІУС, тому далі розглянемо саме ці аспекти.

Набір програмних компонент, які забезпечують функціонування активних правил у такій системі, назвемо *механізмом активних правил* (МАП). На базовому рівні МАП реалізується у вигляді *бібліотеки активних правил*, які застосовуються безпосередньо для обробки телеметричних даних, що надходять від PLC-контролерів на базовому рівні SCADA-системи. Результатом цього є накопичені значення технологічних параметрів, які характеризують передісторію, розвиток та післядію специфічних станів у ТП, описані за допомогою активних правил. Ці дані передаються до вузлу більш високого рівня, де *монітор активних правил* надає можливість здійснити їх відповідний аналіз та на його основі змінити активні правила нижнього рівня з метою підвищення якості управління ТП. Загальна архітектура розподіленої обробки даних показана на рис. 5.

Як було зазначено вище, однією з головних рис вузлів базового рівня у ієрархічній ІУС є збір та накопичення первинних даних про хід деякого ТП. У роботі [9] нами було запропоновано компонентну архітектуру, що містить типові проектні рішення (*design patterns*) для такої багаторівневої системи.

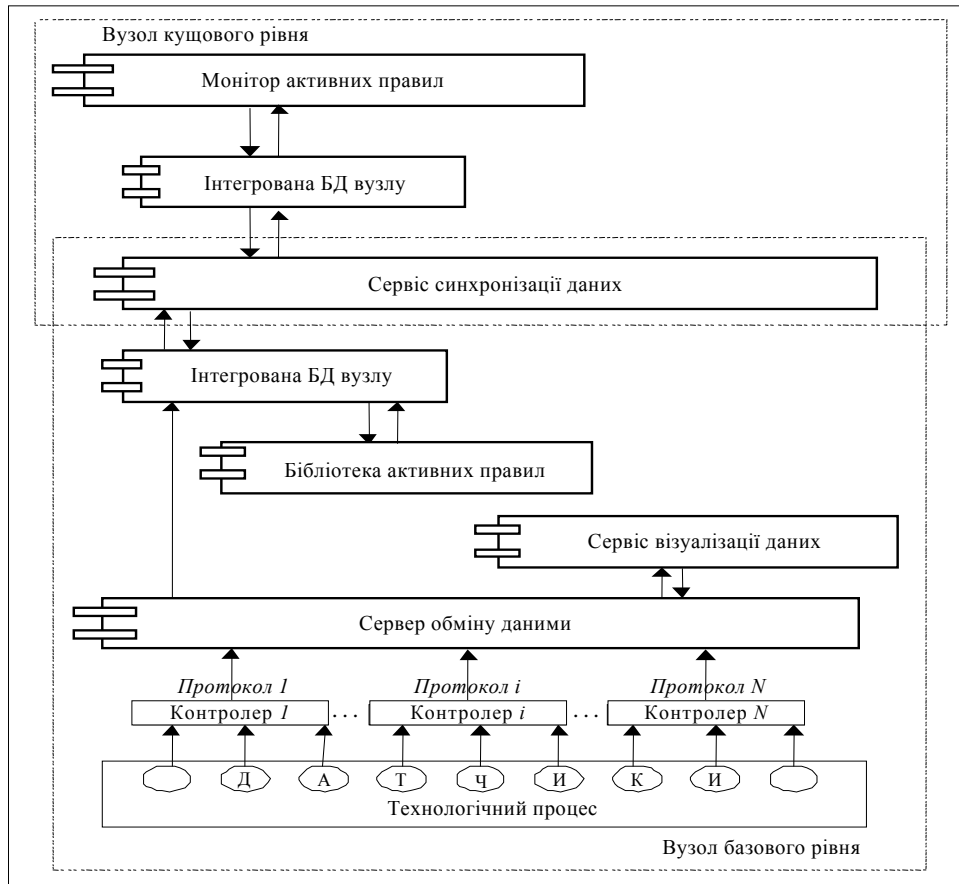


Рис. 5. Архітектура розподіленої обробки даних

Зокрема, збір даних про ТП, які надходять від контролерів на порт персонального комп'ютера та надання цих даних іншим компонентам вузлу обробки даних здійснюється сервером обміну даними (СОД). СОД передає дані до інтегрованої бази даних вузла (ІБДВ), і прийом цих даних ІБДВ може розглядатися як подія певного ЕСА-правила для вузлу обробки даних базового рівня. На базовому рівні також можуть бути виділені календарні події (абсолютні, відносні та періодичні). Кожен ТП, що контролюється, може бути охарактеризований двома типами телеметричних параметрів: 1) чисельними або аналоговими, наприклад: «Тиск газу в крані № 20», позначимо множину таких параметрів як NP ; 2) булевими або дискретними, наприклад: «Тиск газу в крані № 20 підвищений», позначимо множину таких параметрів як BP .

Визначимо два типи умов для ЕСА-правил в системі, а саме:

1. Моментальні умови. Оперують лише тими значеннями параметрів, які актуальні в момент часу, коли перевіряється істинність умови.
2. Часові умови. Можуть відноситися до будь-якого моменту часу t_0 з історії БД та опрацьовувати значення параметрів, які відносяться до попередніх чи наступних моментів часу відносно t_0 .

В даній роботі розглянемо лише деякі аспекти використання моментальних умов для активних правил.

Визначимо елементарну моментальну умову як умову одного з трьох типів: 1) порівняння значення чисельного параметру із чисельною константою (NP_C -умова); 2) порівняння значень двох чисельних параметрів (NP_NP -умова); 3) істинність або помилковість значення булевого параметру (BP -умова).

Тобто множина елементарних моментальних умов SE буде визначена таким чином: $SE = \{NP_C, NP_NP, BP\}$, $se_i \in SE$. Тоді моментальну умову можна визначити як суперпозицію елементарних моментальних умов $\{se_i\}$, логічних операторів (AND, OR, NOT) та дужок. Дія ECA -активних правил у вузлі базового рівня забезпечує одну з нижчеподаних функцій:

- Первинну обробку даних про хід ТП (обчислення агрегатів даних, усунення помилкових даних, які можуть бути одержані від контролеру, та ін.).
- Створення динамічних відображень ТП. Припустимо, що умова S описує деякий специфічний стан S у певному ТП, для аналізу якого також важливі значення параметрів із множини NP' ($NP' \subseteq NP$). Нехай умова S стає істинною у момент часу t_1 та перестає бути істинною у момент t_2 . Тоді динамічне відображення ТП, що пов'язане з описаним станом S , — це окреме реляційне відношення, у якому зберігаються значення параметрів із множини NP' протягом інтервалу часу $t_1 - \underline{t}, t_2 + \bar{t}$, де \underline{t}, \bar{t} — константи відповідного ECA -правила, які описують тривалість передісторії та постісторії стану S .

Таким чином, на базовому рівні саме *бібліотека активних правил* забезпечує, окрім звичайної, ще й інтелектуальну складову обробки даних. При цьому отримані прикладні знання надаються користувачеві системи у вигляді колекції динамічних відображень ТП, що забезпечує підтримку прийняття рішень щодо аналізу умов запобігання появи проблемних ситуацій, аварій тощо.

Як було зазначено вище, на кущовому рівні *монітор активних правил* забезпечує генерацію коректив активних правил базового рівня, яка базується на результатах аналізу даних на кущовому рівні. Наведемо можливі сценарії, коли стає необхідною генерація таких коректив.

- Окремі надлишкові елементарні умови повинні бути виключені з правила вузлу базового рівня.
- Може бути змінена множина NP' : додані нові параметри, значення яких є важливими для аналізу стану технологічного процесу, чи, навпаки, виключені параметри, значення яких не грають суттєвої ролі у такому аналізі. Також можуть бути відкоректовані значення констант \underline{t}, \bar{t} .

Це забезпечує адаптивність процесу застосування активних правил на базовому рівні системи, що, у свою чергу, поліпшує якість управління відповідними ТП.

ДЕЯКІ ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ПОДАЛЬШИХ РОЗРОБОК

Таким чином, ми розглянули один з можливих підходів до побудови архітектури розподіленої обробки даних для досить важливого класу багаторівневих ієрархічних ІУС, а саме сучасних SCADA-систем для управління техно-

логічними системами в реальному масштабі часу. При цьому запропоновано використання власної DOM-моделі для структурування даних і модифікованого механізму активних правил для їх інтелектуальної обробки. Серед напрямків запланованих нами подальших досліджень слід виділити проблему розробки уніфікованих програмних рішень на інтранет-платформі для імплементації запропонованої архітектури розподіленої обробки даних.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Сергієнко І.В.* Про основні напрями створення інтелектуальних інформаційних технологій // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2002. — № 1. — С.39–64.
2. *Коголовский М.Р.* Энциклопедия технологий баз данных. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 800 с.
3. *Potemkin V.V.* Web- technologies at the Service of Process Control Systems // Вісник НТУ «ХПІ». — 2001. — № 22. — Р. 23–27 (in English).
4. *Apostolov A.* Distribution Substation Protection, Monitoring and Control Systems with Web-Browser Based Remote Interface // ALSTOM T&D Protection & Control, Los Angeles, USA. — 2001. — 15 p.
5. *Graves, M.* Designing XML-Databases. — Printed in USA, Prentice Hall, Inc., 2002. — 655 p.
6. *Хабуш А., Ткачук Н.В., Исмаилов Р.* Применение Web-технологии в информационно-управляющей системе газокompрессорной станции магистрального газопровода // Автоматика та приладобудування. Вісн. ХДПУ. Зб. наук. праць. — Вип. 102. — 2000. — С. 113–117.
7. *Разработка* архитектуры региональной Web-базированной АСУ ТП для объектов газопромышленного управления «Харьковгаздобыча» / Н.В. Ткачук и др. // Вісн. НТУ «ХПІ»: Тематичний зб. наук. праць «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». — Харків: НТУ «ХПІ». — 2002. — 6, № 9. — С. 51–60.
8. *Ткачук Н.В.* Концепция интегрированной среды реинжиниринга сложных информационно-управляющих систем // Проблемы информатики и управления. — 2003. — № 1. — С. 74–82.
9. *Web-based* Process Control Systems: Architectural patterns, Data Models, and Services / M.V. Tkachuk, H.C. Mayr, D.V. Kuklenko, M.D. Godlevsky // Lecture Notes in Computer Science (LNCS 2510), GI Edition, Berlin 2002. — P. 721–729.
10. *Bertino E., Catania B., Zarri G.* Intelligent Database Systems / Addison-Wesley, ACM Press, Great Britain. — 2001.
11. *Norman W. Paton.* Active Rules in Database Systems / Norman W. Paton, ed. — New York: Springer, 1998. — XIX. — 439 p.
12. *Thalhammer T., Schrefl M., Mohania M.* Active Data Warehouses: Complementing OLAP with Analysis Rules // In: Journal on Data & Knowledge Engineering (DKE). — 39, № 3, December 2001, Elsevier Science Publ. — ISSN 0169-023X. — 2001. — P 241–269.

Надійшла 10.04.03.